

SALAOJAT TEIDEN KUIIVATUKSESSA

**TVH / TIENSUUNNITTELUTOIMISTO
PTL / JAOSTO 31**

TVH 722320

HELSINKI 1 8 1979

28
THE



81 360

SALAOJAT TEIDEN KUIVATUKSESSA

TVH/TIENSUUNNITTELUTOIMISTO
PTL/JAOSTO 31

TVH 722320

HELSINKI 1.8.1979

ALKUSANAT

Pohjoismaiden Tieteknillisen Liiton liittojaosto 31 (Tien rakenne) julkaisi v. 1977 raportin teiden kuivatuksesta (Vägens avvattning, Rapport nr. 12:1977), jossa tarkastellaan syväkuivatuksen ratkaisutapoja eri Pohjoismaissa, kustannuksia, lisätutkimustarvetta ym. seikkoja. Tälle jatkona PTL:n liittojaosto 31 käynnisti v. 1978 uuden selvitystyön, jossa keskitytään salaojiin. Tarkoituksena on todeta vallitseva tilanne teiden syväkuivatuksessa, salaojien yksityiskohdat, seikat joista tarvittaisiin lisätietoja sekä muut tekijät ja kokemukset, yhtä hyvin kielteiset kuin myönteiset, jotka saattavat vaikuttaa salaojien suunnitteluun ja käyttöön tienrakennuksessa.

Tämä raportti on yhteispohjoismaiseen selvitykseen tuleva Suomen osuus jonkin verran laajennettuna ja täydennettynä. Yhteisraportin kokoa Ruotsin jaosto. Suomen osuuden on laatinut tekn.tri Eero Lehtipuu dipl.ins. Pauli Velhonojan avustamana. Pääpaino on nykyisen salaojituskäytännön esittelyssä, joskin paikoin tilannetta vertaillaan myös aikaisempaan, mikäli olennaisia muutoksia on tapahtunut. Tiesalaojituksen todennäköisesti yleistyessä tulevina vuosina on kehitystyö eri yksityiskohdissa jatkossakin tarpeen.

TVH/Tiensuunnittelutoimisto
PTL/Jaosto 31

1.8.1979

SISÄLLYS

	Sivu
1. JOHDANTO.....	1
2. TIESALAOJIEN AIKAISEMPI KÄYTTÖ SUOMESSA.....	2
2.1 Aikaisemmat salaojitusohjeet.....	2
2.2 Tiesalaojituksen tähänastiset määrät.....	4
3. TIESALAOJIEN RAKENNE.....	6
3.1 Salaojan sijainti ja muotoilu.....	6
3.2 Salaojan mitoitus.....	8
3.21 Mitoitusvirtaama	
3.22 Putken halkaisija	
3.23 Putken kaltevuus	
3.3 Salaojan tehokkuus.....	13
3.31 Salaojien vedenottokyky	
3.32 Salaojien vedenjohtokyky	
4. PUTKIMATERIAALIKYSYMYKSIÄ.....	15
4.1 Muoviputket.....	15
4.11 Muoviputkien materiaali	
4.12 Muoviputkien muotoilu	
4.13 Muoviputkien reiät	
4.14 Muoviputkien kustannukset	
4.2 Tiiliputket.....	17
4.21 Tiiliputkien materiaali	
4.22 Tiiliputkien muotoilu	
4.23 Tiiliputkien vedenottoaukot	
4.24 Tiiliputkien kustannukset	
4.3 Betoniputket.....	19
4.4 Muut putkityypit.....	20
4.5 Eri salaojatyyppien käyttöalue.....	21
4.6 Salaojasora ja suodatin.....	23
4.61 Hiekasta tehty suodatin	
4.62 Hiekkasuodattimen muotoilu	
4.63 Hiekkasuodattimen kustannukset	
4.7 Kangassuodatin.....	26
4.71 Kangassuodattimen materiaali	
4.72 Kangassuodattimen muotoilu	
4.73 Kangassuodattimen kustannukset	
4.8 Muut suodatintyyppit.....	28
5. SALAOJIEN RAKENTAMINEN.....	29
5.1 Työtekniikka.....	29
5.2 Salaojituksen kalusto.....	31
5.3 Salaojien rakentamiskustannukset.....	32
6. SALAOJITUKSEN KUNNOSSAPITO.....	33
6.1 Kunnossapidon toimenpiteet.....	34
6.2 Kunnossapidon aikavälit.....	35
6.3 Kunnossapidon kalusto.....	35
6.4 Kunnossapidon kustannukset.....	35
7. TUTKIMUS- JA KEHITYSTYÖ.....	36
7.1 Valmiit ja käynnissä olevat tutkimushankkeet...	36
7.11 Julkaistuja ohjeita ja tutkimuksia	
7.12 Julkaisemattomia tai käynnissä olevia tutkimuksia	
7.2 Ehdotuksia uusiksi tutkimuskohteiksi.....	38

SALAOJAT TEIDEN KUIVATUKSESSA

PTL:n liittojaoston 31 salaojaprojektiin
liittyvä laajennettu suomalainen katsaus

1. Johdanto

Salaojituksen käyttö osana teiden kuivatusta on Suomessa vähäistä, jos otetaan huomioon sen suosio maanviljelyssä ja toisaalta ne edut, jotka tien poikkileikkaukselle koituvat salaojista. Muista Pohjoismaista on Ruotsissa ja Norjassa käytetty salaojitusta jonkin verran enemmän ja Tanskassa se on jo kauan ollut vallitseva syväkuivatuksen menetelmä. Teiden salaojittamiseen tunnetaan kuitenkin kaikkialla kasvavaa mielenkiintoa. Nimenomaan syville avo-ojille salaoja ja siihen liittyvä matala sivuoja on houkutteleva vaihtoehto.

Avo-ojiin verrattuna salaojitus on aina jonkin verran enemmän suunnittelua ja työtaitoa vaativa kuivatusmenetelmä. Salaojien rakentamisesta tai niiden myöhemmästä toiminnasta ei kuitenkaan yleisesti ottaen ole kielteisiä kokemuksia. Salaojia käytettäessä on tien laatutason nousu erittäin tuntuva, koska näin saavutettavat matalat sivuojat ja loivat sisäluiskat parantavat ratkaisevasti tien ja maaston sopusointua ja myös liikenneturvallisuutta vähentämällä tieltä suistumisen vaarallisuutta. Tätä taustaa vasten salaojituksen tietty pienipiirteisyys on ilmeisesti vain vähäinen haitta.

Tässä raportissa tarkastellaan myös tiesalaojien välittömiä kustannuksia mutta ei vertailla laajemmin salaojituksen ja sen kanssa kilpaillevan syvän avo-ojituksen kustannussuhteita. Näitä on tarkasteltu mm. PTL:n raportissa 12:1977 (Vägens avvattning) sekä kohdassa 7.11 mainituksa Matti Virtasen diplomityössä (selostettu myös Tie ja Liikenne-lehden n:ossa 9/1976). Näiden mukaan matala sivuoja ja sen yhteydessä käytettävä salaoja tulee kaivumassojen vähentyessä useimmiten halvemmaksi kuin syvä avo-oja ja suurehkoissa leikkauksissa säästö on erittäin huomattava.

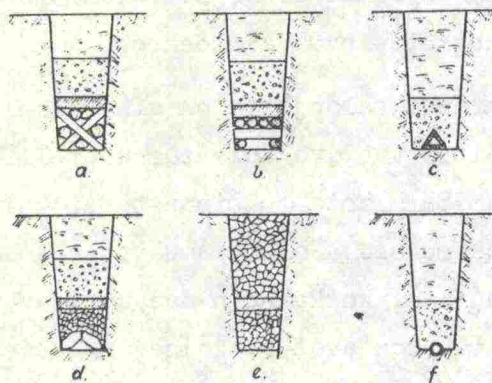
On ilmeistä, että salaojien käyttöä tienrakennuksessa on syytä lisätä syvien avo-ojien vaihtoehtona. Tähän on tähdätty myös TVH:n uusissa kuivatuksen suunnitteluohjeissa. Seuraavat tarkastelut pyrkivät lisäämään salaojituksen yksityiskohtien tuntemusta ja osoittamaan jatkokehittelyn kohteita.

2. Tiesalaojien aikaisempi käyttö Suomessa

2.1 Aikaisemmat salaojitusohjeet

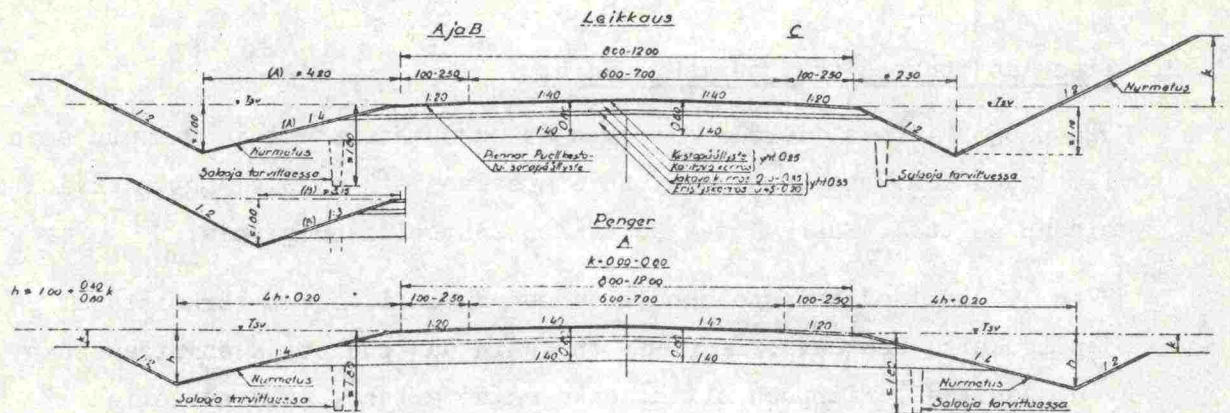
Vaikka salaojitusmäärät ovat aina olleet Suomessa vähäisiä, itse periaate on tienrakennuksessa ollut tunnettu lähes yhtä kauan kuin maanviljelyssäkin. Vaatimattomia kivi- ja riukuojia on tieltä paikoin tehty jo 1860-luvun hätäaputoissa. Varsinaisia ohjeita salaojien suunnittelusta esiintyy ensimmäisistä yleisten teiden rakenteellisista ohjeista alkaen. Siten jo v:n 1917 tyyppipoikkileikkauksissa kehoitettiin vahvistamaan tiepohjaa "kuohusavileikkauksissa" pintasalaojilla (= matalalle ja lähelle toisiaan tehtyjä lyhyitä imuojia).

V:n 1924 normeissa salaojia esiteltiin jo verrattain laajasti, pääpainon ollessa kivi- ym.putkettomissa salaojissa, kuva 1.



Kuva 1. Salaojien poikkileikkauksia TVH:n v:n 1924 tienormien mukaan.

Seuraavien vuosikymmenten tyyppipoikkileikkauksissa (1931 ja 1954) salaojien tarve ja sijoitteluperiaate pysyivät olennaisesti samoina kuin v.1924. Salaoja oli mahdollista suunnitella routiviin maaleikkauksiin ja mataliin penkereisiin syvän avo-ojan lisäksi; se sijaitsi sisäluiskan keskellä tai avo-ojan pohjan kohdalla. Salaojan syvyys oli 1 m vaiheilla alusrakenteen yläpinnasta mitaten, kuva 2. Avainohje salaojista oli niiden käyttö "tarvittaessa", mutta lähempiä ohjeita tarpeesta ei esitetty. Merkille pantavaa on, että salaojia käytettiin nimenomaan tavallisen avo-ojituksen täydentäjänä. Ylimoitutusta ja muita haittoja lievensi kuitenkin se, että avo-ojan syvyys oli vielä kohtuullinen, esim.v:n 1954 ohjeissa routivassakin maaperässä tien reunasta mitaten 0,7...1,1 m.



Kuva 2. V:n 1954 tyyppipoikkileikkaus, jossa salaoja on syvän avo-ojan lisänä. (I lk kestopäällysteinen tie, erittäin routiva pohjamaa).

Seuraavissa, v:n 1964 ohjeissa salaoja mainitaan aikaisempaa harvemmin. Se esiintyy ainoastaan ns. kavennetun poikkileikkauksen yhteydessä sekä kaksiajorataisten teiden rungon kuivatuksen vaihtoehtona. Näissä tilanteissa salaoja kuitenkin on nimenomaan syvän avo-ojan vaihtoehto, ei sen täydentäjä.

Tyyppikuvien niukkuutta korvasivat jossain määrin v:n 1970 ohjeet kuivatuksen suunnittelusta, joissa salaojituksen yksityiskohtia käsiteltiin melko laajasti. Ydinkysymys, milloin salaojitusta tarvitaan tai milloin se muuten on suositeltava, jäi näissäkin ohjeissa miltei kokonaan vastaamatta ja siksi salaojavaihto pysyi edelleen harvinaisena poikkeustapauksena. V:n 1970 ohjeet on sittemmin korvattu uudella, 10.4.1979 ilmestyneellä ohjeistolla, jossa salaojituksella on kaikista aikaisemmista tyyppiohjeista poiketen varsin tärkeä sija.

Yleiseksi syyksi salaojituksen vähäisyyteen tienrakennuksessa voidaan arvella ennakkoluuloisuutta sen toimintaan ja työn jossain määrin suurempaa vaativuutta verrattuna perin yksinkertaiseen avo-ojan tekemiseen. Toteutetuista salaojista ei juuri ole kielteisiä kokemuksia eikä niiden kunnossapitoa voi valittaa hankalaksi - koska kunnossapitoa ei yleensä edes ole jouduttu suorittamaan (lähemmin kohdassa 6.). Esimerkkinä vallinneesta asenteen kielteisyydestä mainittakoon toteamus teoksesta Suomen teiden historia II (s. 456): "Salaojia on kuitenkin yleensä pyritty teillämme välttämään ojien aukipidolle aiheuttamien vaikeuksien takia ja tekemään avo-ojia."

2.2 Tiesalaojituksen tähänastiset määrät

Tarkkoja tietoja tiesalaojituksen kokonaismäärästä tai edes muutaman viime vuoden aikana tehdyistä uusista salaojista ei ole, mutta arvioita voidaan esittää. Määrät ovat kaikkiaan suhteellisen pieniä.

V:n 1978 salaojatilasto muodostuu seuraavaksi. Luvut tarkoittavat ojaopituuksia. Vastaava tiepituus on vähintään puolet ja enintään sama kuin ojaopituus, riippuen siitä, onko salaoja tehty vain toiselle vai molemmille puolille tietä.

Taulukko 1. TVL:n piireissä v.1978 tehtyjen salaojien yhteispituus.

<u>Piiri</u>	<u>Salaojapituus, km</u>
U	2,98
T	0,65
H	1,25
Ky	0,24
M	0,01
P-K	1,60
Ku	0
K-S	0
V	1,79
K-P	5,82
O	0
Ka	0,15
L	0,17

Yhteensä 14,66 km

Todettakoon samalla, että tiiliputkea on käytetty vain n.6 %:iin yllä mainitusta salaojapituudesta pääosan ollessa muoviputkisalaojaa. Muoviputkista valtaosa on ollut sisähalkaisijaltaan 80 mm tai 100 mm putkea (usein käytetään vanhaa, ulkohalkaisijan mukaista merkintää $d = 90$ mm ja 110 mm). Tarkkaa halkaisijan mukaista jakaumaa ei ole saatavissa.

Milloin tietoja on satunnaisesti saatavana edellisiltä vuosilta, näyttää siltä, että vuotuismäärät ovat olleet samaa luokkaa kuin 1978. Vuotuiskeskiarvoksi moottoriteitä lukuunottamatta voitaneen koko maassa 1970-luvulla arvioida n. 15 km ojaopituus. Aikaisempien vuosikymme-

nien salaojamääriä on vaikeampi arvioida, mutta on syytä otaksua salaojituksen olleen 1950- ja 1960-luvulla vielä vähäisempää kuin myöhemmin. Poikkeuksena ovat moottoritiet, sillä niiden kokonaispituudesta valtaosalla on salaoja (tarpeen kannalta joskus turhaankin). Moottoritien poikkileikkauksessa salaojia on yleensä 2 tai 3, joskus jopa 4, jos salaoja on tehty kummankin ajoradan molempiin reunoihin.

Suurin osa muista salaojateistä liittyy taajamiin tai ne on muuten varustettu jalkakäytävällä tai lisäkaistoilla. Asutuksen ulkopuoliset yksiajorataisen tien salaojaosuudet ovat tavallisesti aivan lyhyitä, kaivottomia tai vain 1..2 kaivoa sisältäviä ojajaksoja.

Kaikkiaan voidaan karkeasti arvioida Suomen yleisillä teillä 1979 sijaitsevien salaojien pituudeksi seuraavan taulukon määrät.

Taulukko 2. Arvio Suomen yleisillä teillä sijaitsevien salaojien kokonaismäärästä.

<u>Tietyyppi ja rakentamisaika</u>	<u>Salaojapituus, km</u>	<u>Tiepituus, km</u>
1-ajorataiset tiet, ennen 1950-lukua	50	30
- " - 1950-luvulla	50	30
- " - 1960-luvulla	100	70
- " - 1970-luvulla	150	100
2-ajorataiset tiet, 1950-70 -luvulla	350	150
	<u>Yhteensä 700 km</u>	<u>380 km</u>

Jos salaojitettujen tieosien yhteispituus on 380 km, se on n. 0,5 % kaikkien yleisten teiden pituudesta (1979 n. 75 000 km). Salaojateistä lähes puolet on moottoriteitä ja muita 2-ajorataisia teitä. Kokonaismäärä on pieni, mutta sinänsä riittävä antamaan tuntumaa ja kokemusta. Kaupunkien ylläpitämät tieosuudet ja kadut eivät sisälly näihin lukuihin.

Määrävertailussa on vielä huomattava, että läheskään kaikki tieosuudet eivät tarvitse varsinaista syväkuivatusta maaperän routimattomuuden, penkereen korkeuden tai tien vaatimattoman yleisen standardin vuoksi. Teoreettinenkin enimmäismäärä salaojitukselle jää siten paljon pienemmäksi kuin tiestön kokonaispituus. Tämänkin huomioon ottaen on nykyistä arviopituutta n. 0,5 % koko tiestöstä pidettävä suhteettoman pienenä.

3. Tiesalaojien rakenne

Seuraavassa luodaan katsaus nykyisin (1979) vallitsevaan käytäntöön. Mikäli kokemusaineistoa on vähän, viitataan lähinnä voimassa oleviin suomalaisiin ohjeisiin.

3.1 Salaojan sijainti ja muotoilu

Sijainti tien poikkileikkauksessa on seuraava:

Sivusuunnassa on putkilinja useimmiten sisäluiskan alla luiskan puolivälissä tai hiukan ylempänä. Etäisyydeksi pientareen reunasta muodostuu tällöin 1...2 m. Toissijaisesti putkilinja on sijoitettu suoraan avo-ojan pohjan alapuolelle, etenkin jos sisäluiska on erityisen kapea (esim. ahtaat leikkaukset). Havaitut virtaamat ovat ojanpohjasijainnilla olleet selvästi suurempia kuin luiskasijainnilla, koska putkeen on kertynyt myös alunperin avo-ojaan valuneita pintavesiä.

Pystysuunnassa putken pohja on useimmiten 0,3...0,8 m päällysrakenteen alapuolella, jolloin syvyydeksi tien pinnan tasolta tulee n. 1,2...2,0 m. Tätä pienempää syvyyttä on käytetty kallioleikkauksissa (syvyys tien pinnasta n. 1,0 m) ja suurempaa syvyyttä paikoin sivukaltevassa maastossa (syvyys tien pinnasta enintään 2,0...2,5 m).

Peitesyvyydeksi tien sisäluiskan pintaan muodostuu yleensä 0,8...1,5 m. Jos salaoja on sivuojan pohjan kohdalla, peitesyvyys on vain n. 0,5...1 m. Kun sekä luiskassa että ojan pohjalla on talvella eristävä lumivalli, salaoja ei yleensä jäädy. Poikkeuksena ovat laskuputkien ympäristöt, jotkut kallioleikkausten salaojat sekä luiskan tasoa korkeammiksi tehdyt kaivorakenteet. Rikkoutumia ei ole näissäkään tapauksissa havaittu eikä varsinaisia toimintahäiriöitä, paitsi laskuaukkojen ympärillä joskus tavattavaa paannejään muodostumista, joka saattaa tukkia laskuputken. Jos salaoja antaa syksyisin vettä runsaasti, laskuputken tulisi sijaita väljässä ympäristössä.

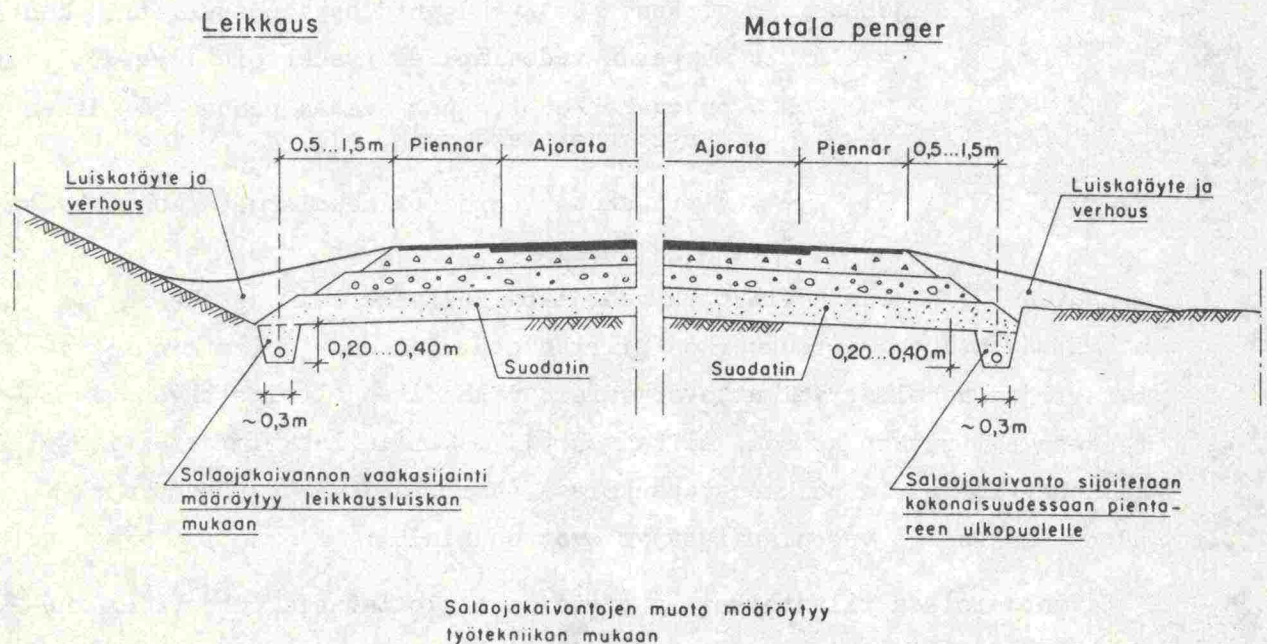
Ajankohtaisena pyrkimyksenä salaojan syvyydessä on päästä edellä mainittuja lukuja matalampaan sijaintiin, joka kuitenkin tyydyttäisi tien syväkuivatustarpeen. Tämän mukaisesti esim. TVL:n uusissa kuivatuksen suunnitteluohjeissa suositellaan "normaalitilanteissa" kaivannon pohja tehtäväksi 0,2...0,4 m päällysrakenteen alapuolelle, jolloin itse putken pohja tulee vielä hiukan ylemmäksi. Tällainen putki saattaa kovina pakkastalvina jäätyä, mutta siitä ei ole todettu syntyvän mainittavia toiminta- tai kestävyyshaittoja.

Yleisesti ottaen kysymys jäätymisen vaikutuksesta salaojiin on yhtä avoin kuin esim. 1940..50 -luvuilla, jolloin siitä keskusteltiin ja kiisteltiin peltosalaojituksen yhteydessä. On sinänsä suotavaa, että putki ei ankarinakaan talvina jäätyisi. Esim. ohjejulkaisu Rakennusten salaojitus, RIL 126 suosittelee tätä suunnitteluperusteeksi. Toisaalta vaurioita voi syntyä vain jos putki jäätyy täynnä tai lähes täynnä vettä, mikä on mahdollista vain jonkin putkitukoksen vuoksi. Tästä syystä näyttää siltä, että ehdotonta vaatimusta salaojan jäätymättömyydestä ei riskin pienuuden takia kannata asettaa, vaan pystysijainti voidaan valita kuivatustarpeen mukaan. Kriittisissä tilanteissa on luonnollisesti tarjona myös lämpöeristys.

Tiesalaojituksen peitesyvyys jää käytännössä aina niin pieneksi (alikulukäytävien yhteydessäkin enintään 5..6 m:iin), että suurinta sallittua peitesyvyyttä ei tarvitse määritellä.

Salaojakaivannon muotoilu. Salaojakaivanto liittyy läheisesti koko tien maa- tai kalliioleikkaukseen. Siitä syystä kaivanto voidaan tehdä joko samanaikaisesti tieleikkauksen kanssa tai jälkeinpäin erillisenä kapeana ojana. Samanaikaisleikkauksessa kalusto on järeämpää ja kaivanto muodostuu suurehkoksi ja verrattain loivaluiskaiseksi.

Tavallisin käytäntö on tähän asti ollut erilliskaivannon tekeminen itse tieleikkauksen jälkeen, kuva 3. (Kalustoa käsitellään lähemmin kohdassa 5.1.)



Kuva 3. Tiesalaojan ohjeellinen muoto ja likimääräiset mitat.

3.2 Salaojan mitoitus

3.21 Mitoitusvirtaama

Salaojaan kertyvä mitoitusvirtaama riippuu valuma-alueen lisäksi lähinnä maalajista, maaperän mahdollisesta kerroksellisuudesta ja siitä, sijaitseeko kuivatustaso eli putken pohja pohjaveden pinnan ylä- vai alapuolella.

Jos salaoja sijaitsee korkeimmankin vuotuisen pohjaveden pinnan yläpuolella, putkeen kertyy vain vajovesiä. Tällainen tilanne voi vallita tien sijaitessa matalalla penkereellä ja salaojan suhteellisen korkealla. Salaojan tarve on tällöin luonnollisesti erityisesti harkittava. Kun valuma-alue on putken sivusuunnassa tavallisesti kapea, jää virtaama niin pieneksi, että sillä ei ole vaikutusta putken mitoitukseen. Poikkeuksena ovat ns. sorasaarrot, joiden kautta pintavettä nimenomaan johdetaan salaojaan. Virtaamalaskelma suoritetaan silloin tavanomaisin pintavesivirtaaman menetelmin.

Jos salaoja sijaitsee pohjaveden pinnan alapuolella, kuten useimmiten on laita tien maaleikkausosuuksilla, koostuu virtaama vajoveden ja pohjavesivirtauksen yhteismäärästä. Pohjavesivirtaus on yleensä paljon tärkeämpi. Sen suuruus on periaatteessa laskettavissa yleisellä maansisäisvirtauksen kaavalla:

$$q = k \cdot H \cdot \frac{n_f}{n_d} \quad (1)$$

jossa q = virtaama (m^3/vrk) yhtä ojan pituusmetriä kohti,

k = maaperän vedenläpäisevyyskerroin (m/vrk),

H = putouskorkeus (= pohjaveden pinnan ja putken pystysuora etäisyys, m),

$\frac{n_f}{n_d}$ = virtauskanavien ja painekaistojen lukumääräsuhde.

Kaavan (1) käyttö edellyttää vedenläpäisevyyskertoimen kokeellista määrittämistä ja virtausverkon piirtämistä. Kun suuritöisetkin selvitykset ja laskelmat vaikuttavat varsin vähän itse mitoitettavaan rakenteeseen eli putken kokoon, ei kaavan (1) mukaisia laskelmia tarvita kuin harvinaisissa poikkeustapauksissa (esim. alikulkukäytävät, jos putouskorkeus ja vedenläpäisevyys ovat suuria).

Tavanomaisissa tilanteissa on virtaama arvioitavissa pohjaveden suurimman mahdollisen valuman mukaan. Jos putouskorkeus on pienempi ($0..3\ m$),

on pohjavesivalumalle esitetty seuraavia mitoitusarvoja eri maalajeissa:

<u>Pohjamaan laji</u>	<u>Valuma, l/s·ha</u>
Sora	10
Hiekka	7
Moreeni, siltti	2..4
Savi	1

Pohjaveden valuma-alueen leveys voidaan arvioida maaston muotojen perusteella likimain samaksi tai jonkin verran suuremmaksi kuin pintaveden valuma-alue.

Jos maasto on tasaista, ei mainittavaa pohjaveden virtausta esiinny ja salaojien tehtäväksi jää alentaa pohjaveden pintaa. Putken vaikutus-alue on tällöin arvioitavissa seuraavan kokemukseräisen kaavan mukaan:

$$B = 7 \cdot H \cdot \sqrt{k} \quad (2)$$

jossa B = salaojan ulottuma yhteen suuntaan eli etäisyys putkilinjalta pohjaveden aleneman alkuun (m),

H = putouskorkeus (m),

k = maaperän vedenläpäisevyys (m/vrk).

Esimerkki. Maaperä on hiekkamoreenia, $k = 2$ m/vrk. Tiehen tulee molemmiin puolin salaoja ja niiden keskinäinen välimatka on 12 m. Putouskorkeus eli etäisyys alkuperäisen pohjaveden pinnasta putken pohjaan on $H = 1,5$ m. Salaojan ulottuma tien sivulle päin on tällöin:

$$B = 7 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{2} = 15 \text{ m.}$$

Koko vaikutusalueen leveydeksi muodostuu ulottuma sivulle + puolet salaojien välimatkasta = $15 \text{ m} + 6 \text{ m} = 21 \text{ m}$.

Jos salaojan pituus on 100 m ja mitoitusvalumaksi otaksutaan $3 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$, on valuma-alue = $0,21 \text{ ha}$ ja mitoitusvirtaama = $0,21 \cdot 3 \text{ l/s} = 0,63 \text{ l/s}$.

Pienipiirteisessä maastossa, jossa ei ole suuria rinnelaakioita, vaihtelee tiesalaojan valuma-alueen leveys n. $10 \dots 40 \text{ m}$ välillä, maalajin karkeuden ja salaojan syvyyden mukaan suurentuen.

3.22 Putken halkaisija

Salaojaputken koko valitaan vesimäärien ja putken kaltevuuden sekä harkinnanvaraisen liettymis- ym. varmuuden mukaan. Kun maansisäisen virtauksen vesimäärät ovat vain suuntaa antavasti arvioitavissa, on putkien mitoitus kokonaisuutena suurpiirteistä ja lähinnä kokemukseen pohjautuvaa.

Teoreettisesti vallitsee putkessa virtaavan veden nopeuden, putken halkaisijan ja kaltevuuden välillä seuraava yhteys (CHEZYN kaava):

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot J} \quad (3)$$

jossa v = veden nopeus (m/s),

C = putken koosta ja materiaalista riippuva kerroin (-),

R = virtausalan hydraulinen säde (m) = $d/4$ täydelle putkelle, kun d = sisähalkaisija,

J = putken kaltevuus (-).

Kertoimelle C on paljon käytetty mm.KUTTERIN kaavaa:

$$C = \frac{100}{1 + \frac{k}{\sqrt{R}}} \quad (4)$$

jossa k = kerroin, esim.tiiliputkille $k = n \cdot 0,20$.

Tiiliputkille saadaan KUTTERIN kaavan mukaan:

$$C = \frac{100}{1 + \frac{0,2}{(\frac{d}{4})^{0,5}}} \quad (5)$$

Yhdistämällä kaavat (3) ja (5) saadaan:

$$v = \frac{50 \cdot d \cdot J^{0,5}}{d^{0,5} + 0,4} \quad (6)$$

Hydrauliikan peruskaavan mukaan on toisaalta:

$$Q = v \cdot A \quad (7)$$

jossa Q = virtaama (m^3/s),

v = veden nopeus (m/s),

A = putken virtausala; täydellä putkella $A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ (m^2).

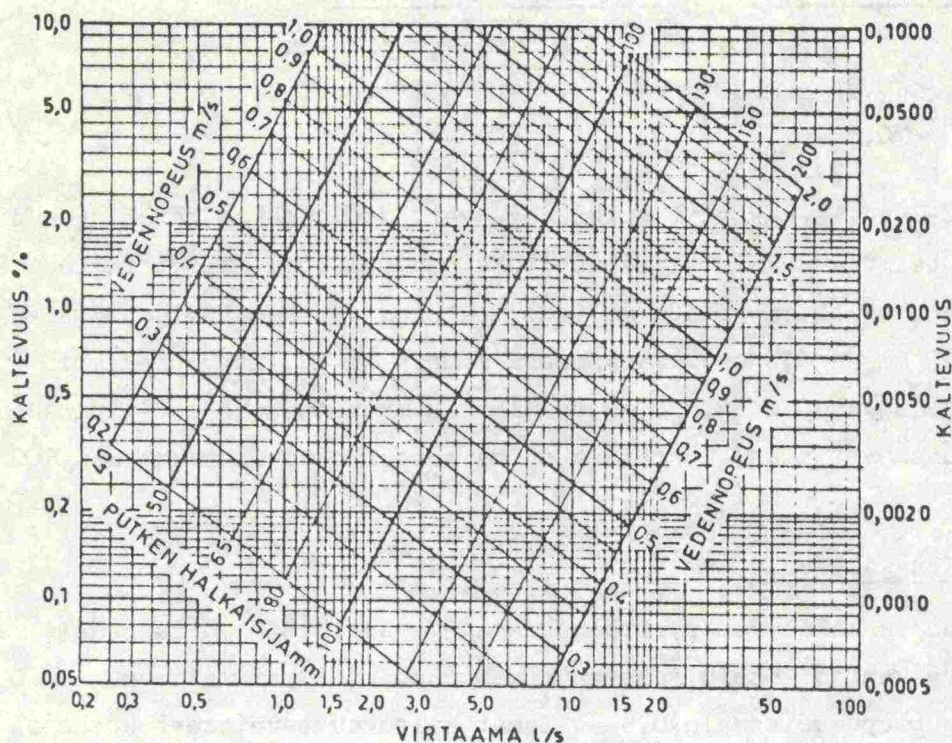
Yhdistämällä kaavat (6) ja (7) saadaan:

$$Q = \frac{39,3 \cdot d^3 \cdot J^{0,5}}{d^{0,5} + 0,4} \quad (8)$$

Yhtälön (8) graafinen esitys on kuvassa 4 ja suomalaisissa käsikirjoissa se tunnetaan "KESON nomogrammina".

Uudemmat laboratoriotutkimukset osoittavat, että kuvan 4 mukaisessa mitoituksessa on varmuutta 25...35 % eli jos tiiliputki on puhdas, se voi kuljettaa 1,25...1,35 -kertaisen virtaaman. Käytännön kannalta tämä varmuus ei ole tiiliputkille lainkaan liian suuri.

Aallotettujen muoviputkien hankausvastus on suurempi kuin tiiliputkien, minkä vuoksi muoviputken halkaisijan tulisi teoriassa olla jonkin verran suurempi. (Sileitä muoviputkia ei enää juuri käytetä salaojitukseen.)



Kuva 4. Tiilisen salaojaputken mitoitus (ns.KESON nomogrammi).

Tilannetta tasoittaa kuitenkin se, että irtonaiset tiiliputket voivat liikkua toisiinsa nähden tai peräkkäiset putket eivät ole täsmälleen saman suuruisia halkaisijaltaan (valmistustoleranssi on n.10 %, ks.kohta 4.22). Kumpikin seikka pienentää kapasiteettia, samoin mahdollinen liitosrenkaiden käyttö. Eräiden tutkimusten mukaan tiiliputki saattaa myös liettyä enemmän kuin muoviputki, joskaan ero ei käytännössä liene suuri.

Mainitut seikat huomioon ottaen voidaan arvioida, että tiiliputken ja aallotetun muoviputken halkaisijat saavat käytännössä olla yhtä suuret. Mikäli pieni ero suuntaan tai toiseen kuitenkin olisi tarpeen, asia olisi hoidettavissa ns.nimellismittaperiaatteella: todellinen putki tehdään hiukan suuremmaksi kuin sen nimelliskoko, jolloin tämä marginaali kattaa eron toiseen materiaaliin nähden. Mitoituksessa käytettäisiin samaa nomogrammia kaikille materiaaleille.

Tiesalaojituksessa on kuvan 4 kaltainen tarkkuusmitoitus itse asiassa tarpeeton, koska virtaamien arviointi on likimääräistä ja luotettava toiminta tärkeämpi kuin pienehkö materiaalisäästö. Tämän mukaan on esim. TVH:n uusissa kuivatusohjeissa päädytty seuraavaan yksinkertaiseen mitoitus taulukkoon, joka on sama kaikille putkimateriaaleille:

<u>Putken kaltevuus,</u> %	<u>Putken sisähalkaisija,</u> mm
< 0,5	100
≥ 0,5	80

1970-luvulla käytetyt putkikoot ovat tätä luokkaa tai hiukan pienempiä. Siten esim. v:n 1978 tiesalaojituksissa esiintyi miltei pelkästään putkikokoja $d_i = 80$ mm ja 100 mm (muoviputkien vastaavat ulkohalkaisijat ovat $d_e = 90$ mm ja 110 mm). Vähäisessä määrin on käytetty pienempiä putkikokoja, $d_i = 40...65$ mm, mutta yli 100 mm putkikokoja ei lainkaan. Joissakin runsasvetisissä kohteissa on käytetty kahta rinnakkaista 100 mm putkea.

3.23 Putken kaltevuus

Salaojan kaltevuus pyritään saamaan mahdollisimman suureksi, mutta tätä vaikeuttaa usein maaston tasaisuus. Vähimmäiskaltevuus on 0,5 % ja poikkeustapauksissakin 0,4 %. Samat kaltevuustavoitteet koskevat kaikkia teitä ja putkikokoja ja myös rakennustonttien salaojitusta. Nämä arvot ovat hiukan suurempia kuin peltosalaojituksessa, jossa hyväksytään 0,3 % vähimmäiskaltevuus. - Kaltevuudelle ei ole tarpeen määritellä enimmäisarvoa, koska liikaa salaojien jyrkkyyttä ei käytännössä esiinny. Liian kaltevuuden haittana olisi maa-aineksen syöpyminen putken ympärillä.

Putken koosta ja kaltevuudesta määräytyvä veden virtausnopeus on yllä mainitulla mitoituksella (putkikoot 80...100 mm) vähintään 0,4 m/s, jos putki on täysi. Jos vettä sitä vastoin on vain 1/10 putken korkeudesta, vähimmäisnopeus pienentyy n. 0,1 m/s:iin. Suuri virtausnopeus on lietteen vähentämiseksi edullinen, mutta vesimäärät ovat yleensä pieniä eikä useimmissa salaojissa päästäne koskaan täyden putken tilanteeseen. Tästä syystä varsinaista itsepuhdistuvuutta (veden nopeus aika ajoin vähintään 0,6 m/s) samaan tapaan kuin viemäriputkissa ei salaojilta voida edellyttää. Liettyminen on torjuttava rakenteellisin keinoin, lähinnä suodattimen avulla. Virtausnopeudelle asetetut vähimmäisvaatimukset - joita kirjallisuudessa kyllä runsaasti esitetään - jäävät vain teoreettisiksi tavoitteiksi.

3.3 Salaojan tehokkuus

Salaojan tehokkuudella tarkoitetaan yleensä sitä, kuinka hyvin se kokonaisuutena ja eri olosuhteissa tyydyttää tien syväkuivatustarvetta. Salaojia voidaan vertailla toisaalta avo-ojiin, toisaalta siihen maansisäiseen virtaamaan, joka teoreettisesti tai kokemusperäisesti arvioiden on salaojien avulla johdettava purkupaikkaan.

Suppeammassa merkityksessä salaojan tehokkuudella tarkoitetaan sen vedenotto- ja vedenjohtokykyä, yksikkönä l/s ojan pituusmetriä kohti. Vedenotto- ja vedenjohtokyvyn suhdetta kuivatettavaan vesimääriin tarkastellaan jäljempänä.



Yleisesti ottaen ei toteutettujen tiesalaojitusten toiminnassa ja kuivatustehossa ole ollut valittamista. Toiminnallinen seuranta eri kohteissa on tosin ollut vain satunnaista. Kun maansisäinen virtaama on yleensä vähäinen (vrt.kohta 3.21), pienikin putki, joka ei ole tukossa, riittää tyydyttämään virtaaman synnyttämän tarpeen.

Verrattuna avo-ojaan salaojan kapasiteetti on luonnollisesti pienempi. Avo-oja johtaa kuitenkin samanaikaisesti myös pintavesiä, joiden määrä on ratkaisevasti suurempi kuin maansisäisen pohja- tai vajovesivirtauksen. Salaojan yhteydessään käytetään myös pintavesien mukaan erikseen mitoitettua matalaa avo-ojaa. Syväkuivatuksen kannalta avo-oja on aina tarpeettoman suuri ja "tehokas", lukuunottamatta tilanteita, jolloin virtaus on katkaistava niin syvällä, että vain salaoja kannattaa kaivaa kuivatussyvyyteen asti. Kun vettä on yleensä aina vähän, avo-ojan kapasiteetti saattaa olla 100-kertainen ja salaojan 10-kertainen. Valtava ylimääräinen varmuus ei tee avo-ojaa lainkaan paremmaksi.

On todennäköistä, että vertailtaessa avo-ojaa ja salaojaa syväkuivatuksen kannalta tiensuunnittelijat pitivät vanhasta tottumuksesta edelleen liiaksi avo-ojan puolta. Toiminnallisia etuja ei syvällä avo-ojalla ole todettu ja toisaalta sen välilliset haitat tien ulkonäölle ja liikenneturvallisuudelle ovat erittäin konkreettisia. Useimmiten syvä avo-oja muodostuu leikkausmassojen paljouden vuoksi myös kalliimmaksi.

Onkin kysyttävä, onko syynä tiesalaojituksen vähäisyyteen (vrt.kohta 2.2) ennakoluuloisuus tai kehittelyhalun puute. Tilannetta voidaan verrata maatalouteen: salaojitus on kautta vuosikymmenien merkinnyt edistystä ja avo-ojitus (sarkaojitus) takapajuisuutta. Runsaampaa salaojitusta ovat ehkäisseet vain alkuvaiheen kustannukset - tienrakennuksessa myös kustannukset puhuvat yleensä salaojavaihtoehdon puolesta.

3.31 Salaojien vedenottokyky

Salaojien vedenottokykyä on tutkittu Suomessa kokeellisesti ainakin 1930-luvulta lähtien. Nykyvuosina asialle antaa erityistä ajankohtaisuutta eri putkimateriaalien vertailu, koska tiili- ja betoniputkiin vesi pääsee ainoastaan $1/3 \dots 1/2$ m välein sijaitsevista saumaraoista, kun taas muoviputket ovat rei'itettyjä koko pituudeltaan. Samoin salaojasoran vaihteleva rakeisuus vaikuttaa vedenottokykyyn olennaisesti.

Uusimpien suomalaisten tutkimusten mukaan esim. $d_1 = 80$ mm tiiliputken vedenottokyky 0,3 m painekorkeudella ja tavanomaista salaojasoraa käytettäessä on n.0,15 l/s putken pituusmetriä kohti. Yhtä suuren muoviputken vedenottokyky oli n.0,42 l/s. Suuruusluokka on sama kuin vanhemmissa tutkimuksissa. Paineekorkeudella 0,1 m luvut pienentyivät arvoihin n.0,02 l/s (tiili) ja 0,05 l/s (muovi). Vedenottokyky suurentuu putken halkaisijan kasvaessa, mutta hitaammin.

Tiesalaojituksessa riittää, että putkeen pääsee vettä n.0,03 l/s.m. (Tämä arvo perustuu 30 m levyiseen valuma-alueeseen ja valuman arvoon 10 l/s.ha.) Useimmiten riittäisi selvästi pienempikin vedenottokyky. Sisähalkaisijaltaan 80 mm tiiliputkilla on tämän mukaan n.5-kertainen varmuus vedenottokyvyssä ja muoviputkilla varmuus on lähes 15-kertainen, jos painekorkeus on 0,3 m. Käytännössä varmuusmarginaali pienentyy siten, että painekorkeus pienentyy paljonkin alle 0,3 m:n, ts.salaoja kuivattaa tehokkaammin.

Kokeiden perusteella on pääteltävissä, että 80 mm putken vedenottokyky ei juuri koskaan muodostu salaojan tehoa rajoittavaksi tekijäksi. Poikkeuksena saattavat olla suuren putouskorkeuden kohteet (esim. alikulkukäytävät), jos vedenläpäisevyys on lisäksi suuri. Tällöinkin luonnollisesti selvittää suurentamalla putkea.

3.32 Salaojien vedenjohtokyky

Salaojaputken tulisi kyetä johtamaan kaikki siihen tullut vesi nopeasti ja luotettavasti purkupaikkaan. Kääntäen vedenjohtokyky määrää osaltaan putken koon. Vedenjohtokyvyn tulisi vastata mitoitus vähintään 50 vuotta.

Vedenjohtokyky riippuu putken halkaisijasta, kaltevuudesta ja materiaaliominaisuuksista. Jos halkaisija ja kaltevuus ovat riittävän suuret, tarpeellinen vedenjohtokyky on aina saavutettavissa, mutta kustannusten takia putkikoon tulisi olla mahdollisimman pieni. Eri materiaaleilla on jonkin verran eroa laboratorio-oloissa; toistaiseksi on epäselvää, vaikuttaako tämä ero myös käytännössä putkikoon valintaan.

Kuten kohdassa 3.22 on esitetty, aallotettu muoviputki johtaa laboratorio-olosuhteissa vähemmän vettä (yksikkönä l/s) kuin yhtä suuri tiili-putki. Pitkäaikaiskäyttö todennäköisesti pienentää eroa, koska tiili-putkien vähäisetkin keskinäiset liikkeet alentavat tehoa. Mahdollinen ero on sikäli verrattain yhdentekevä, että mitoituksen väljyyden takia salaoja ei koskaan ole täynnä, ellei putki ole liettymisen tai muun syyn vuoksi ainakin osittain tukossa. Kuten riittävä vedenottokyky, myös vedenjohtokyky on saavutettavissa varsin suurella varmuudella kohtuullisen pieniäkin putkikokoja käyttäen.

4. Putkimateriaalikysymyksiä

4.1 Muoviputket

Ensimmäiset muoviputkinormit on julkaistu 1969 Suomen Rakennusinsinöörin Liiton toimesta (RIL 68). Hiljattain asetettu RIL:n työryhmä valmistelee uusia salaojaputkinormeja. Suomen Muoviteollisuusliitto puolestaan on laatinut 1978-79 erityisesti valmistusta palvelevat muovisten salaojaputkien standardit, jotka ovat samankaltaiset kaikissa Pohjoismaissa (Suomessa SFS 3430..3440).

4.11 Muoviputkien materiaali

Muoviputkien materiaalina käytetään nykyisin PVC-muovia, josta valmistetaan aallotettuja putkia (SFS 3431, 3432) sekä vähäisessä määrin sileitä salaojaputkia. Aallotetut putket vastaavat jäykkyydeltään T-luokan maaviemäriputkien jäykkyyttä. Aikaisemmin on valmistettu myös jäykkyydeltään L-luokan putkia.

Salaojaputkia ei vähään aikaan ole valmistettu PEH-muovista (materiaali on jonkin verran kalliimpaa ja rei'ityksen teko vaikeampaa kuin PVC-putkiin). Ulkomaisena tuotteena on markkinoille kuitenkin tulossa PEH-muovista valmistettu "lujiteputki" ($d_1 = 100$ mm), joka on ulkoa aallotettu mutta sisältä sileä.

4.12 Muoviputkien muotoilu

Markkinoilla olevien muoviputkien sisä- ja ulkohalkaisijat sekä vastaavat kieppipituudet ovat seuraavat:

<u>Keskimääräinen sisä-</u> <u>halkaisija ja sallittu</u> <u>mittapoikkeama, mm</u>	<u>Keskimääräinen ulko-</u> <u>halkaisija ja sallittu</u> <u>mittapoikkeama, mm</u>	<u>Kieppipituus, m</u>
40 - 0,5	46,0 ± 0,5	200
50 - 0,6	56,5 ± 0,6	200
65 - 0,7	72,7 ± 0,7	100
80 - 0,9	89,5 ± 0,9	100
100 - 1,0	110,0 ± 1,0	100
130 - 1,3	142,0 ± 1,3	50
160 - 1,6	176,0 ± 1,6	50

Nimelliskokona käytetään sisähalkaisijaa d_i , esim. $d_i = 80$ mm. Muovi-putkien valmistuskoot saattavat kuitenkin muuttua, jos ns. nimellismittaperiaate (vrt.kohta 3.22) otetaan käyttöön.

Kaikkia putkikokoja on kieppien lisäksi saatavana 5 m salkoina.

Putkien on oltava pyöreitä; suurin sallittu soikeus on 2 %. Esim. 100 mm putken suurin halkaisija saa ylittää keskiarvon 1 mm:llä ja samoin alittaa sen 1 mm:llä.

Normeissa annetaan lisäksi mitat erilaisille putkiyhteille, joita käytetään liittämään toisiinsa saman- tai erikokoisia putkia sekä haarautuvia putkia.

4.13 Muoviputkien reiät

Tätä nykyä valmistettavien putkien reiät ovat pääasiassa suorakaiteen muotoisia. Reiän leveys saa olla 1,0...1,5 mm ja pituus 2,0...25,0 mm. Aallotettujen putkien reikäkoko on tavallisimmin 1,0 x 5,0 mm, sileiden putkien 1,0 x 25,0 mm. (Pyöreän reiän halkaisija saisi normien mukaan olla 2,0...3,0 mm.)

Reikäpinta-ala on T-lujuusluokan mukaisilla putkilla vähintään 2000 mm² putken pituusmetriä kohti. Tämä vaatimus on riippumaton putken halkaisijasta. L-lujuusluokan (mm.peltosalaojituksessa käytettävillä) putkilla vähimmäisreikäala saa olla pienempi.

Tutkimusten mukaan reikäalalla on erittäin tuntuva vaikutus putkien vedenottokykyyn. Kun vedenottokyky kuitenkin on suuruusluokaltaan 10-kertainen tarpeeseen verraten, ei vaihtelulla ole käytännön merkitystä eikä reikäalan tarkempi porrastaminen näytä aiheelliselta.

4.14 Muoviputkien kustannukset

Muovisten, 50...200 m kieppeinä myytävien T-luokan aallotettujen salaojaputkien likimääräiset myyntihinnat v.1979 ovat seuraavat (14 % liikevaihtovero sisältyy hintoihin):

<u>Sisähalkaisija, mm</u>	<u>mk./m</u>
40	2,05
50	3,45
65	5,70
80	8,60
100	10,90
130	15,80
160	24,20

Salkoputkien hinta on 4...5 % korkeampi kuin vastaavan kieppitavaran. Kuhunkin 5 m salkoon sisältyy tällöin yksi liitosholkki, joten se ei aiheuta lisäkustannuksia.

Rakentamiskustannuksia tarkastellaan kohdassa 5.3.

4.2 Tiiliputket

Tiilliset salaojaputket on normitettu v.1967 (RIL 54 b). Normien uusiminen on vast' ikään pantu vireille. Puutteena nyt jo 12 vuoden ikäisissä normeissa on ehkä pidettävä toiminnallisten vaatimusten (esim.vedenotto- ja vedenjohtokyky) vähäisyyttä verrattuina mittoihin ja lujuuksiin. Samoin eräät valmisteet, kuten kulmikkaat putket puuttuvat.

4.21 Tiiliputkien materiaali

Tiiliputkien materiaalille ei ole normitettu erityisiä materiaalivaatimuksia (välillisesti ilmenee mm.paisuvien kalkkirakeiden osuus lujuskokeissa). Yleisvaatimukseen kuuluu mm. se, että putkien on oltava sisäpinnoiltaan ja pään särmiltä sileitä ja että kuivan putken pitää heijastaa kirkkaasti siihen vasaralla lyödessä.

4.22 Tiiliputkien muotoilu

Tiiliputkien pituus on 333 ± 10 mm, paitsi $d_1 = 250$ mm putken, jonka pituus on 500 ± 16 mm. Halkaisijasta riippuvat valmistusmitat ovat seuraavat:

<u>Sisähalkaisija ja sallittu mittapoikkeama, mm</u>	<u>Seinämän paksuus, mm</u>
40 + 4 - 1	9...13
50 + 4 - 2	10...14
65 + 5 - 2	11...16
80 + 6 - 2	13...18
100 + 7 - 3	15...20
130 + 9 - 4	16...22
160 + 10 - 4	18...24
200 + 11 - 5	20...27
250 + 13 - 6	22...30

Nimelliskokona käytetään sisähalkaisijaa.

Pyöreiden putkien suurin sallittu soikeus on 5...8 % halkaisijan kasvaessa pienentyen.

Pyöreitä putkia on valmistettu myös jalallisina, mutta niiden käyttö on hyvin vähäistä. Lisäksi valmistetaan ulkoa 8-kulmaisia putkia, jotka sisältä ovat pyöreitä. Näiden etuna on tarkempi suoruus polttovaiheessa sekä jossain määrin pyöreätä putkea parempi sivuttaisvakavuus putken laskun ja ojan täytön aikana.

Tiiliputken suurin kaarevuus saa olla 1/3 m putkille 3 mm ja 1/2 m putkille 4 mm.

4.23 Tiiliputkien vedenottoaukot

Tiiliputkien päihin jätettävä rako saa olla enintään 1,5 mm leveä; käytännössä se on keskimäärin 0,5...1,0 mm. Jos saumaraon leveys on 1 mm, muodostuu tavallisimpien rakennusputkikokojen sisääntuloaukkojen pinta-alaksi (putken ulkopinnalla) seuraava:

<u>Sisähalkaisija, mm</u>	<u>Aukkoala, mm²/m</u>
65	880
80	1040
100	1260
130	1620

Kun T-luokan muoviputkien reikäalan on kaikilla halkaisijoilla oltava $\geq 2000 \text{ mm}^2$ (vrt.kohta 4.13), tämä suuremmuus selittää pääosan muoviputkien paremmasta vedenottokyvystä.

Tiesalaojituksessa on tiiliputkien raot yleensä suojattu 50...100 mm levyisellä karkeutetulla bitumihuovalla tai muovirenkaalla, mikä samalla lujittaa putkilinjaa. Vesi pääsee putkeen huovan tai renkaan ja putken ulkoseinämän välistä. Suojaus poistaa myös mahdollisuuden juurtukkeumiin, mutta sen tarpeellisuus olisi harkittava kulloinkin erikseen.

4.24 Tiiliputkien kustannukset

Tiilisten salaojaputkien likimääräiset myyntihinnat v.1979 vapaasti tehtaalla ovat seuraavat (14 % liikevaihtovero sisältyy hintoihin):

<u>Sisähalkaisija, mm</u>	<u>mk/m</u>
40	1,30
50	1,70
65	3,10
80	4,65
100	6,20
130	9,60
160	12,90
200	18,90

4.3 Betoniputket

Betonisille salaojaputkille ei ole erityisohjeita, mutta soveltuvin osin ovat niille voimassa betoniputkinormit v:lta 1971 (Suomen Kunnallisteknillinen Yhdistys, julkaisu n:o 1). Näiden normien uusiminen on vireillä ja toteutunee 1980-luvun alkupuolella.

Betonisia salaojaputkia on viime vuosina valmistettu vain n. 400 m koe-erä v.1978. Hintatiedot ym.kokemukset ovat siten yleistystyksiä varten liian suppeita. Kokeilu- ja kehittelyvalmiutta on kuitenkin olemassa sekä valmistajien että käyttäjien taholla.

Betoniputkien materiaali: Salaojaputkien materiaalikoostumus on sama kuin betonisilla viemäriputkilla. Koe-erän lujuusluokka oli K 50, mutta sitä voitaneen pitää ylimitoitettuna.

Koe-erän putket ($d_1 = 100$ mm, pituus $1/3$ m) painoivat $5,5$ kg/kpl eli varsin paljon. Suuri paino saattaa haitata betoniputkien käytön yleistymistä.

Betoniputkien muotoilu: Salaojaputket valmistetaan $1/3$ m tai $1/2$ m pituisiksi. Putket ovat pyöreitä ja halkaisijat ovat samat kuin tiili-putkilla. Valmistustavan erilaisuuden vuoksi on betoniputkilla ilmeisesti mahdollista päästä pienempiin mittapoikkeamiin kuin tiili-putkilla.

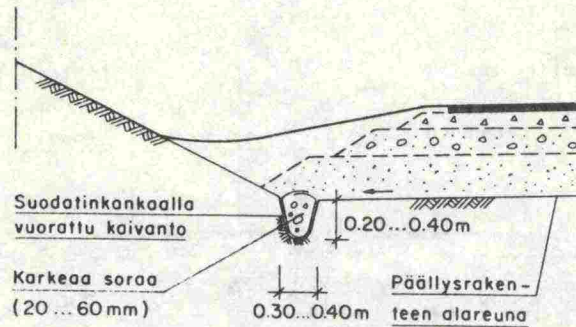
Betoniputkien vedenottoaukot: Betonisten salaojaputkien toiminta vastaa tiili-putkisalaojaa. Päätyrakojen leveyksiin ym. nähden voidaan käyttää tiili-putkien ohjeita.

Betoniputkien kustannukset: Betonisista salaojaputkista ei ole saatavana muovi- ja tiili-putkien kanssa vertailukelpoisia kustannustietoja. Koe-erän putket ($d_1 = 100$ mm) maksoivat n. $7,50$ mk/m eli jonkin verran enemmän kuin tiili-putket, mutta suuremmat valmistusmäärät luonnollisesti laskisivat hintaa.

4.4 Muut putkityypit

Muita tiesalaojituksen putkimateriaaleja kuin muovi, tiili ja betoni ei Suomessa ole käytetty. Yksi mahdollisuus voisi olla asbestisementti, josta valmistetut putket ovat huomattavasti kevyempiä kuin betoniputket. Varsinaista tarvetta uusiin putkimateriaaleihin ei kuitenkaan ole.

Laajakantoisempi on sitä vastoin kysymys putkettomista salaojista, jolloin salaojakaivanto täytetään karkealla kiviaineksella ja mahdollisesti vuorataan suodatinkankaalla, kuva 5. Tällaiselle suoto-ojalle on verrattain runsaasti käyttöä, ks.kohta 4.5.



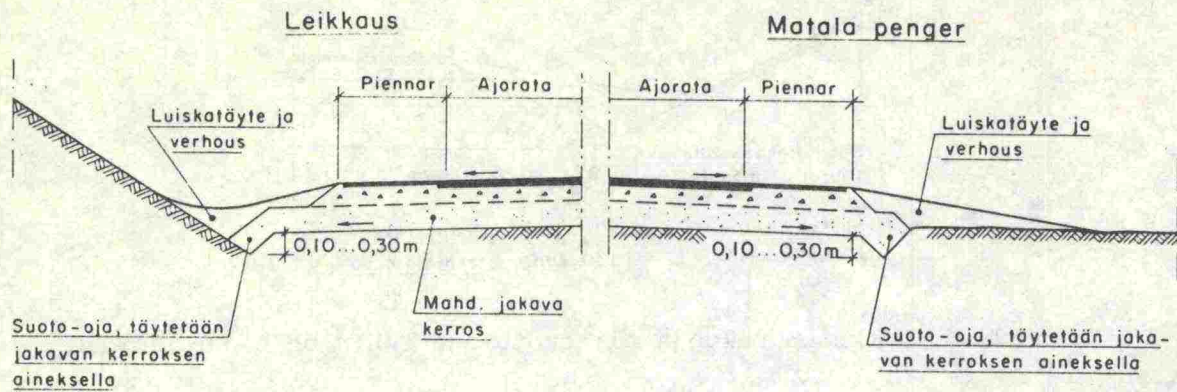
Kuva 5. Putketon salaoja eli suoto-oja TVH:n ohjeiden mukaan.

4.5 Eri salaojatyyppeiden käyttöalue

Eri materiaaleista tehdyt putkisalaojat kattavat toistensa käyttöalueen ja ovat siten teknisesti toistensa vaihtoehtoja. Olosuhteet, kuten maanpaine tai muu kuormitus, maaperän happamuus, kuivatusveden syövyttävyyden tms., jotka viemärinsuunnittelussa voivat vaikuttaa putkiaineen valintaan, ovat salaojituksessa siinä määrin vakiolaatuiset, että niillä ei ole merkitystä. Valinta muovin, tiilen ja betonin välillä tapahtuu toisaalta kustannusten ja helpon saannin, toisaalta asennuksen ym. työmaatekijäin perusteella.

Enemmän valinnan- ja harkinnanvaraa on sen kysymyksen osalta, milloin tienkuivatuksessa ylimalkaan tarvitaan salaoja ja kun se tarvitaan, milloin putkioja voidaan korvata putkettomalla suoto-øjalla. Nykykäsitteiden mukaan tarve on arvioitavissa seuraavasti:

1. Kun syvistä avo-øjista (= ojan pohja ulottuu tien päällysrakenteen alapuolelle) pyritään mahdollisimman suuressa määrin luopumaan, muutos ei läheskään aina edellytä putkisalaojan tekemistä. Jos alusrakenne on routimaton, voidaan käyttää matalaa avo-øjaa ja pientä suoto-øjaa, joka tarvitaan lähinnä työnaikaisen kuivanapidon vuoksi, kuva 6. Sama menettely soveltuu routivassakin alusrakenteessa, jos se on homogeenista ja päällysrakenne sijaitsee pohjaveden pinnan yläpuolella.



Kuva 6. Matala sivuoja ja pieni suoto-oja työaikaista kuivatusta ja myöhempiä vajovesiä varten.

2. Putkisalaoja tarvitaan uusilla teillä seuraavissa tilanteissa:

- Leikkausosuuksilla, jos pohjamaa on routivaa ja pohjavesi on tien tulevan päällysrakenteen korkeudella. Myös routimattomilla leikkausosuuksilla on tässä tilanteessa salaoja eduksi, jos pohjamaan vedenläpäisevyys on pieni (alle 1 m/d).

- Matalilla pengerosuuksilla, jos pengerkorkeus on alle 0,6 m, pohjamaa on routivaa ja lisäksi maalajiltaan (vedenläpäisevyydeltään) hyvin vaihtelevaa.

- Poikkeustapauksessa myös tiealueella sijaitsevien lähteikköjen tai leikkausluiskien vesisuonien kuivattamiseen, sekä vettä keräävissä notkokohdissa sijaitsevien maalaatikkorakenteiden ja siirtymäkiilojen kuivattamiseen. (Normaalitapauksissa maalaatikkoja ja siirtymäkiiloja ei kuivateta.)

3. Putkisalaojaa ei tarvita seuraavissa tilanteissa:

- Korkeilla pengerosuuksilla.

- Leikkauksissa ja matalilla pengerosuuksilla, jos alusrakenne on routimaton ja vedenläpäisevyys vähintään 1 m/d. Matalilla pengerosuuksilla putkisalaojaa ei tarvita routivallakaan alusrakenteella, jos pohjamaan vedenläpäisevyys on likimain vakio.

- Sivukaltevassa maastossa alarinteen puolella.

- Tilanteissa, joissa viemäri- tai muu kaivanto tai avo-oja hoitaa tien syväkuivatuksen. Etenkin vaatimattoman luokan teillä, joiden päällysrakenne on suhteellisen ohut, syväkuivatus voidaan hoitaa 0,5...0,8 m syvyisellä avo-ojalla, josta ei vielä ole syvän sivuojan haittoja.

Ottaen huomioon suomalaiset maaperäolosuhteet, teiden laatu ja yleinen korkeussijainti voidaan arvioida, että uusilla teillä tarvittaisiin ainakin toisella puolella tietä putkisalaoja n.20...40 % matkalla koko tielinjan pituudesta, kun sivuojat tehdään kauttaaltaan matalatyypiksi (alle 0,6 m). Suhdeluku on suurin korkeimman luokan teillä ja pienentyy tien päällysrakenteen ohentuessa ja standardin alentuessa. Vähäliikenteisillä teillä salaoja jää poikkeustapaukseksi.

Niillä leikkauskohdilla tai matalan penkereen osuuksilla, joissa putkisalaojaa ei tarvita, tehdään matala suoto-oja kuvan 6 tapaan.

Putkisalaoja puolestaan voidaan korvata kuvan 5 esittämällä putkettomalla, mutta muuten normaalikokoisella salaojalla, jos seuraavat edellytykset ovat voimassa:

- ojaajaksolla ei ole lainkaan kaivoja, ts.yhtenäisen salaojan pituus on enintään n.100 m,

- virtaama on pienehkö esim.siten, että valuma-alue on alle 20 m leveä eikä runsasta virtausta esiinny missään kohdassa.

Koska nämä edellytykset vallitsevat melko usein, olisi kuvan 5 kaltaista suoto-ojaa (kivisalaojaa) syytä käyttää yhtenä normaaliratkaisuna. Tuleeko suoto-oja halvemmaksi kuin putkisalaoja, riippuu kuitenkin myös karkean kiviaineksen ja tavallisen salaojasoran hintasuhteesta.

4.6 Salaojasora ja suodatin

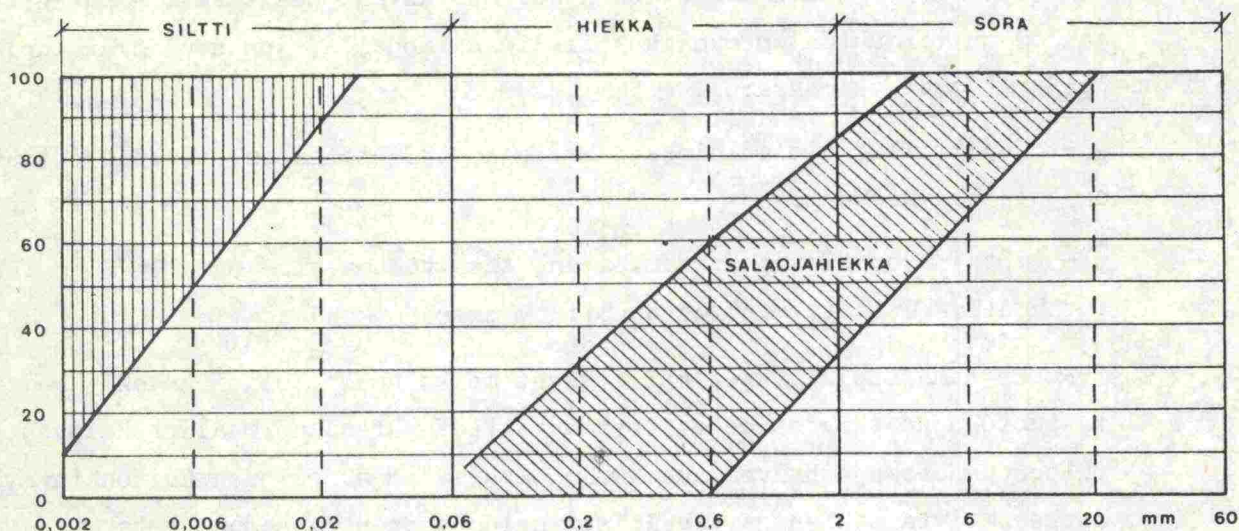
Salaojasoralla tarkoitetaan putkea välittömästi ympäröivää kiviainesta. (Muita nimityksiä: salaojahiekka, suojussora, tonttien kuivatuksessa myös salaojakerros.) Salaojasoran ja pohjamaan väliin saateetaan tarvita suodatin, joka on ohut hiekkakerros tai suodatinkangas.

Käsitteitä salaojasora ja suodatin ei saisi sotkea. Salaojasora tarvitaan veden keräämiseen aina (putkettomissa suoto-ojissa se voi olla hyvin karkeatarkin), mutta suodatin tarvitaan vain silloin kun pohjamaan ja salaojasoran rakeisuussuhde on epäedullinen siten, että pohjamaasta saattaa kulkeutua runsaasti hienoaainesta putkeen tai vettä johdaviin kerroksiin.

Suodattimen tarpeen määrittely ja suodattimen tekeminen ovat tie-salaojituksen tärkeitä yksityiskohtia. Voidaan arvioida, että suodat-

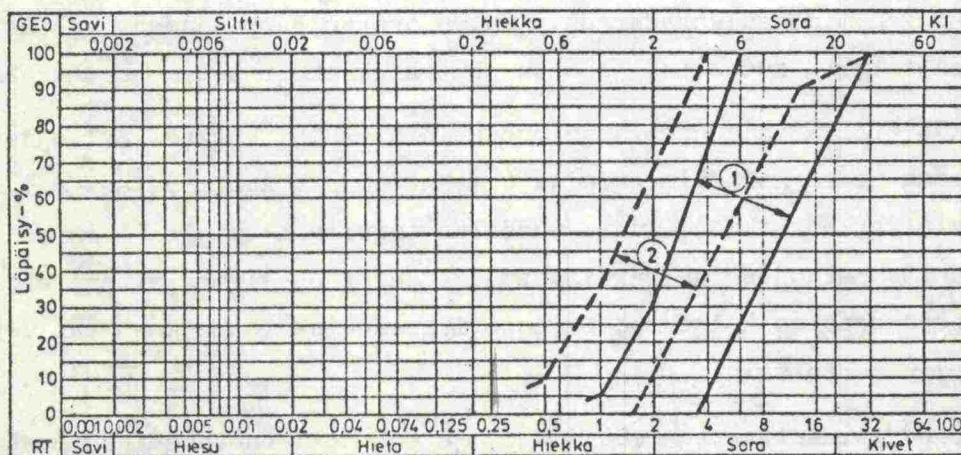
timeen liittyvät virheet - tavallisimmin sen jättäminen pois, vaikka tarvetta olisi - ovat todennäköisin syy salaojien pitkäaikaikäskytön mahdollisiin toimintahäiriöihin.

Salaojasoran rakeisuudelle on TVL:n työselityksessä osoitettu kuvan 7 mukainen ohjealue. Se on miltei sama kuin peltosalaojituksen rakeisuusohje. Tämän mukainen salaojasora saattaa kuitenkin olla rakennussalaojituksen jonkin verran tarpeettoman hienoa. Eräässä 1978 suoritetussa tutkimuksessa todettiin, että jos salaojasoran $d_{10} < 0,25$ mm, sora muostuu salaojan toimintaa rajoittavaksi tekijäksi vedenottokyvyn ollessa jyrkästi riippuvainen kiviaineksen rakeisuudesta.



Kuva 7. TVL:n työselityksen mukainen salaojasoran ohjealue.

Uusien tontin kuivatusohjeiden salaojasora onkin karkeampaa, kuva 8 (Rakennusten salaojitus, RIL 126). Siinä otetaan huomioon myös pohjavesiolosuhteet. Toisaalta karkea salaojasora vaatii jonkin verran useammin suodatinta; ääritapauksena on kuvan 5 kaltainen karkealla kiviaineksella täytetty suoto-oja, joka on aina ympäröitävä suodattimella (-kankaalla).

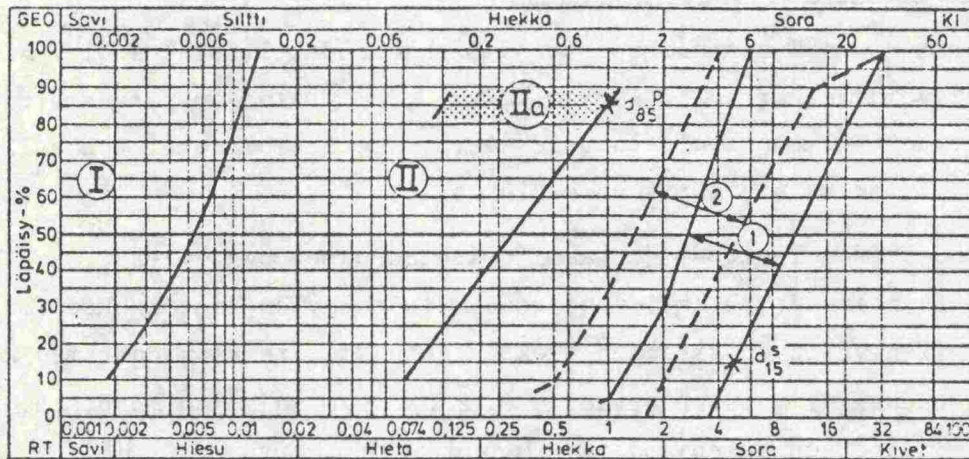


Kuva 8. Salaojasoran rakeisuusalueet: 1 = ohjealue, jos pohjaveden pintaa alennetaan tai vettä virtaa runsaasti sivulta, 2 = ohjealue, jos salaoja sijaitsee pohjaveden pinnan yläpuolella. (RIL 126)

4.61 Hiekasta tehty suodatin

Suodattimen tarkoituksena on estää veden virtauksen mukana tapahtuva hienoaineksen kulkeutuminen karkeampaan maa-ainekseen, joka vähitellen tulisi tukkeutumaan. Vierekkäisten maakerrosten on noudatettava ns. suodatinsääntöjä, jotka estävät liettymisen, mutta takaavat samalla riittävän vedenläpäisevyyden.

Kuvan 8 mukaista salaojasoraa käytettäessä on suodattimen tarve osoitettavissa esim. kuvan 9 rakeisuusalueina. Hienoin pohjamaa (S_a , hSi) ei tarvitse suodatinta suuren koheesionsa ansiosta ja karkea pohjamaa taas sisältää vain vähän liettyvää ainesta. Suodatinta tarvitsee lähinnä maaperä, jonka rakeisuus ulottuu keskisiltistä keskihiekkaan. Moreenien liettymisherkkyys vaihtelee ja varsin usein ne selviävät ilman suodatinta.



Kuva 9. Suodattimen tarve pohjamaan rakeisuudesta riippuen (RIL 126):
 Alue I: suodatin tarvitaan vain poikkeustapauksissa,
 Alue II: suodatin tarvitaan, jos rakeisuuskäyrä kokonaan tällä alueella,
 Alue II a: jos rakeisuuskäyrä kulkee välillä $d_{85} = 0,125 \dots 1,0$ mm, suodattimen tarve riippuu salaojasoran rakeisuudesta seuraavasti:
 jos $d_{15}^s > 5 \cdot d_{85}^p$, on suodatin tarpeen.

- 1 = salaojasoran rakeisuusalue 1,
 2 = salaojasoran rakeisuusalue 2.

Itse suodatinhiekan tulee täyttää seuraavat suodatinkriteerit:

- a) $d_{15}^f \leq 5 \cdot d_{85}^s$ (estämään liettymisen),
 b) $d_{15}^f \geq 5 \cdot d_{15}^p$ (takaamaan vedenläpäisevyys)
 jossa d_{15}^f = suodatinhiekan raekoko läpäisyprosentin 15 kohdalla,
 d_{85}^s = salaojasoran raekoko läpäisyprosentin 85 kohdalla,
 d_{15}^p = pohjamaan raekoko läpäisyprosentin 15 kohdalla.

4.62 Hiekkasuodattimen muotoilu

Salaojakaivannon pohjaan ja reunoille suodattimeksi sijoitettavan hiekkakerroksen paksuudeksi riittää toiminnalliselta kannalta n. 0,10 m, mutta työtekniikan ja kaivannon epätasaisuuksien vuoksi ainesmenekki on arvioitava jonkin verran suuremmaksi.

Suodatinkerroksen sovittaminen kaivannon seinämiin onnistuu sellaiseen vain laakeatyyppisissä kaivannoissa, joiden luiskat eivät ole jyrkemmät kuin n. 1:1,5. Tätä jyrkemmät kaivannot tarvitsevat levy-muotin suodatinaineksen sovittamiseksi pohjamaan ja salaojasoran väliin. On todennäköistä, että muotin käytöstä aiheutuva lisätyö tekee tällöin suodatinkankaasta hiekkaa edullisemman vaihtoehdon.

4.63 Hiekkasuodattimen kustannukset

Varsinaisia kustannusraportteja hiekkasuodattimista ei ole. Ainesmenekiksi voidaan karkeasti laskea $0,1...0,2 \text{ m}^3$ salaojan pituusmetriä kohti. Jos materiaali on seulottua hiekkaa, tulee sen hinnaksi työmaalla n. 1,50...4 mk salaojan pituusmetriä kohti.

Suodattimen levitys- ja tasoituskustannukset ovat pienet, jos luiskat ovat enintään 1:1,5 kaltevuudessa. Muotin käytön kustannukset sitä vastoin lienevät työn hitauden vuoksi tuntuvat. Hiekkasuodattimen kokonaiskustannuksiksi voidaan arvioida n. 2..7 mk/m salaojan muodosta, syvyydestä, aineksen saannista ym. olosuhteista riippuen.

4.7 Kangassuodatin

Hiekkasuodattimen paikalla voidaan käyttää suunnilleen samoin edellytyksin kangassuodatinta. Muovikudoksisten suodatinkankaiden (nimityksenä esiintyy myös kuitukangas) käyttö tienrakennukseen on alkanut vasta 1970-luvun alussa, lisääntynyt nopeasti, mutta alan normitus ja kontrolloidut kokemukset ovat edelleen puutteellisia.

4.71 Kangassuodattimen materiaali

Suodatinkankaita on useita tyyppejä, jotka eroavat muoviraaka-aineeltaan, valmistustavaltaan ja tuoteominaisuuksiltaan. Siksi olisi tiedet-

tävä, mitkä valinnaistekijät ovat merkityksellisiä niiden käytölle mm.salaojasuodattimina. Asiaa selvitetään v.1978 asetetussa PTL:n työryhmässä, mutta toistaiseksi on lähinnä tarjona vain norjalainen käyttöluokitus v:lta 1977 (esitelty PTL:n raportissa 11:1977, Fiberduk i vegbygging).

Olennaisin normitus on suodatinkankaiden jako neljään käyttöluokkaan, joista kevein ja heikoin (lk.I) kelpaa pienimmän rasituksen kohteisiin, kuten luiskien suojaamiseen ja lujin kangas (lk.IV) soveltuu ajoradan alle louhepenkereenkin yhteyteen. Riittävä lujuus ja kestävyys hiekka- ja sorapintaa vasten on käyttöluokan II kankailla, joita siten voidaan käyttää salaojien suodatinmateriaalina hiekkaa korvaamassa. Silloinkin kun kysymyksessä on kuvan 5 mukainen suoto-oja, jossa vettä johtava kiviaines on salaojasoraa karkeampaa, riittää ilmeisesti käyttöluokan II kangas.

Kun kankaita on useita tavaramerkkejä, valitaan sopiva käyttöluokan II kangas lähinnä seuraavien seikkojen nojalla:

- rullan leveys (mahdollisimman vähän paloittelua tai limitystä),
- hinta.

Vedenläpäisevyyden säilyminen vuodesta toiseen hyvänä on ensiarvoisen tärkeätä, mutta siitä ei yleisesti ottaen ole kokemuksia. Esim.suodatin-kankaan paksuudella saattaa tässä suhteessa olla merkitystä, jonka tulisi vaikuttaa valintaan.

Uusien tutkimusten mukaan tulisi kutomattomien suodatinkankaiden (Suomessa tavallisin tyyppi) täyttää seuraavat toiminnalliset vaatimukset:

1. Kankaan läpi tapahtuvan maa-aineksen huuhtoutumisen estämiseksi:

- a) jos $d_{50}^{maa} \geq 0,074$ mm: kankaan keskimääräinen huokoskoko $< d_{25}^{maa}$,
- b) jos $d_{50}^{maa} < 0,074$ mm: kankaan keskimääräinen huokoskoko = n. 0,15 mm,
- c) veden virtausnopeus kankaan läpi $\leq 0,3$ m/s.

2. Riittävän vedenläpäisevyyden saavuttamiseksi:

$$k_{kangas} \geq 5 \cdot k_{maa} \quad (k = \text{vedenläpäisevyyskerroin}).$$

3. Riittävän yksinkertaisuuden ja jäykkyyden saavuttamiseksi:

kankaan paksuus $\leq 50 \cdot$ kuidun läpimitta.

4.72 Kangassuodattimen muotoilu

Kun suodatinkangas on hiekkakerrokseen verrattuna ohut, saa salaojakaivanto olla kangasvaihtoehdolla selvästi kapeampi. Kaivannon pohjassa enempi kuin seinämissäkään ei saisi olla teräviä koloja, joissa kangas saattaa repeytyä. Muuten tasaisuusvaatimukset eivät ole suuremmat kuin hiekkasuodattimellakaan.

Suodatinkankaan reunat limitetään toistensa päälle ojan yläpinnassa riippumatta siitä, ulottuuko tierakenteen oma suodatin- tai jakava kerros salaojan päälle vai ei.

4.73 Kangassuodattimen kustannukset

Suodatinkangasmerkkien lukuisuudesta seuraa kilpailutilanne, joka näkyy mm. hintakehityksessä. Reaalihinnat ovat 1970-luvulla yleensä alentuneet, mutta tätä nykyä hinnat ovat nousussa muiden muovituotteiden tapaan. Käyttöluokan II keskimääräishinta liikevaihtoveroineen on 1979 n. 3,00.. 3,20 mk/m² (suurkäyttäjät saavat tuntuvia paljousalennuksia).

Jos salaojakaivannon mitat ovat kuvan 3 (kohta 3.1) mukaiset, muodostuu vuorattava piiri n. 0,7 m leveäksi. Kankaan liepeiden, ojan lisäsyvyyden ja kaivannon seinämien epätasaisuuden vuoksi lienee kangasleveys arvioitava keskimäärin n. 1 metriksi. Tällöin materiaalikustannukset ojan pituusmetriä kohti ovat samat kuin suodatinkankaan m²-hinnat.

Kangassuodattimen levityskustannuksista ei ole raporttitietoja, mutta levitys ja muu asennus on keskimäärin helpompaa ja halvempaa kuin hiekkasuodatinta käytettäessä. Kangassuodattimen kokonaiskustannuksiksi voidaan arvioida n. 3,50...5 mk/m.

4.8 Muut suodatintyytit

Muita suodatintyyteitä hiekan ja kuitukankaiden lisäksi voisivat olla sammal, oljet, kutterinlastut yms. orgaaniset aineet. Näistä ei Suomessa ole kokemusta ja on todennäköistä, että niiden suodatuskyky (vedenläpäisevyys) on vuosien mittaan puutteellinen.

Peltosalaojituksessa on putken ympärillä käytetty myös mineraalivillasta valmistettua salaojitushuopaa (leveys 0,15...0,30 m), mutta tienrakennuksessa tästä ei ole kokemusta. Uusi tuote on myös tehdasvalmisteen suodatinkangaspäällysteinen salaojaputki, joka ei oman aukipyyntinsä vuoksi tarvitse salaojasoraa lainkaan. Tienrakennuksessa on vettä keräävä salaojasora joka tapauksessa yleensä tarpeen, jolloin suodattimen tulisi periaatteessa sijaita salaojasoran ulkopuolella eikä sisäpuolella suoraan putkea vasten.

5. Salaojien rakentaminen

Tiesalaojituksen vähyydestä aiheutuu, että työmenetelmät ovat vaikiintumattomia verrattuna peltosalaojitukseen ja toisaalta muuhun tietekniikkaan. Kun salaojan syvyys, maaston laatu ja muut olosuhteet vaihtelevat tielinjalla enemmän kuin pellolla, ei yhtä suureen yhdenmukaisuuteen voitane päästäkään. Kaivukalusto, salaojasoran ja mahdollisen suodattimen levitys ja kaikkien työvaiheiden laadunvalvonta olisi kuitenkin voitava vakiinnuttaa siinä määrin, että tiesalaojitusta ei tarpeettomasti aristeltaisi.

Seuraavassa esitetään eräitä piirteitä Suomessa noudatetusta käytännöstä ja myös seikkoja, joista nykyisin on riittämättömästi tietoa.

5.1 Työtekniikka

Salaojituksen päätyövaiheet ovat seuraavat:

- kaivannon teko,
- putkien asennus,
- täyttö salaojasoralla ja mahdollisen suodattimen sijoitus.

Kaivun luonteeseen vaikuttaa eniten se, minkälaista kalustoa on käytettävissä (ks.kohta 5.2). Salaojan toiminnan kannalta riittää kapea ja jyrkkä kaivanto, mutta järeä kalusto ja maaperän kivisyys saattavat suurentaa kaivantoa olennaisesti. Kysymys siitä, tehdäänkö kaivanto yhdessä muun maaleikkauksen kanssa vai jälkikäteen erillistyönä, on ratkaistava työmaakohtaisesti, mutta nykyisin näyttää jälkikäteistyö suositummalta. - Runsas veden virtaus vaikeuttaa toisinaan kaivutyötä.

Kaivu aloitetaan yleensä ojan alapäästä purku- tai tarkastuskaivosta vastavirtaan edeten. Pohjan taso pyritään saamaan heti putkien asennuksen mukaiseen korkeuteen, paitsi maalajeissa, jotka tarvitsevat suodattimen (paksuus 50...100 mm) ja toisaalta louhospohjalla (tasausrava ≥ 100 mm). Ehjän kalliopinnan päälle riittää pelkkä ohut tasaussora.



Putkien asennus alkaa pohjan tasoituksella, joka on tarpeen kaikissa maalajeissa riippumatta siitä, tuleeko putken alle suodatin vai ei. Asennus vaatii huolellisuutta jokaisessa vaiheessa ja on siten luonteeltaan käsityötä putkityypistä riippumatta. Työselityksissä annetaan ohjeita putkien laskusta, liitoksista, alustan mahdollisesta vahvistamisesta yms.; ohjeet ovat asiallisia, mutta on epäselvää, kuinka tarkoin niitä noudatetaan. On todennäköistä, että kun tiesalaojitusta ei tehdä urakkatyönä pelto-ojituksen tapaan, "oman työn" riittävästä valvonnasta tulisi varmistautua nykyistä paremmin.

Kaivannon täytön keskeisin kysymys on rakeisuudeltaan sopivan luonnon soran (-hiekan) saanti tai seulonta sekä suodattimen käyttö, mikäli pohjamaa sitä edellyttää. Salaojasoran paksuudeksi määrää TVL:n työselitys vähintään 0,15 m putken päälle ja kummallekin sivulle; jälkimmäinen vaatimus lienee ylimitoitettu ja johtaisi tarpeettoman suureen kaivannon pohjaleveyteen ($0,3 \text{ m} + d_u + \text{mahd. suodatin} \approx 0,4 \dots 0,7 \text{ m}$).

Kun salaoja on yleensä matala, vrt. kuva 3 (kohta 3.1), tulee salaojasoran päälle välittömästi tien rakennekerrosten kiviaines. Vaikka salaoja sijaitsee useimmiten tien luiskassa, kaivannon yläosaakaan ei saa peittää huonosti läpäisevällä luiskamateriaalilla vaan välittömän yhteyden rakennekerrokseen tulee säilyä.

Jos salaojaan sijoitetaan hiekkasuodatin, tämän käyttö vaatii jyrkässä seinäisissä kaivannoissa levymuottia, vrt. kohta 4.62. Muotin käytöstä on niukasti kokemuksia ja siihen nähden kangassuodattimen asennus on helppoa.



Lisäpiirteitä salaojien työtekniikasta suomalaisen käytännön mukaan:

- Kokonaisuutena salaojien rakentaminen on yksinkertaisempaa kuin viemäriputkien, jotka usein asennetaan melko suureen syvyyteen. Esim. julkaisu Maahan ja veteen asennettavat kestopuoviputket (RIL 77 c, 1978) erottelee kaivannon täyttö- ja tiivistysohjeet 8 eri tavalla maaperän mukaan. Salaojituksessa vaihtoehtoja on paljon vähemmän.

- Putkien, etenkin irtonaisten tiili- ja betoniputkien pysyminen paikallaan kaivannon täytön aikana vaatii erityistä huolellisuutta. Tarkastusmenetelmiä tulisi kehittää.

- Kaivannon täyttömateriaalin tiivistämistarve on jossain määrin epäselvä. Kun putket eivät tule ajoradan alle, ei tiivistämisellä ole kantavuusmerkitystä ja pienehkön syvyyden vuoksi maanpaine kuormitukseen ei yleensä nouse kriittiseksi. Tiivistämisessä on joka tapauksessa noudatettava varovaisuutta putkien rikkoutumisen ja liikkumisen välttämiseksi.

- Tarkastus- ym. kaivojen rakentaminen on ollut verrattain suuritöistä. Helpotusta tuo kaivovälin suurentaminen (TVL:n uusissa ohjeissa etäisyys saa olla 50...100 m) ja elementeistä koottavien kaivojen käyttö.

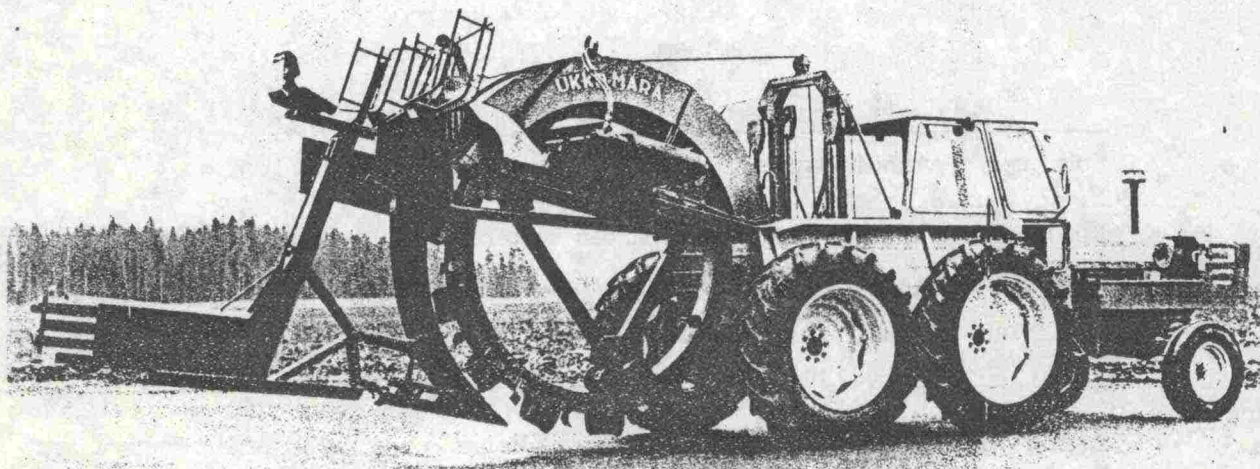
5.2 Salaojituksen kalusto

Peltosalaojitukseen verrattuna tiesalaojituksen kalusto on erikoistumatonta ja vaihtelevaa.

Tiesalaojan kaivanto on tehty yleensä pienehköllä hydraulisella kaivinkoneella, jossa käytetään kuokkakauhaa. Kauhana on erityinen salaojakauha, leveys n.0,3 m. Hyvin kivisessä maaperässä joudutaan käyttämään suurempaa kauhaa ja toisinaan räjäytystöitäkin. Tällöin kaivanto olisi edullisempaa tehdä muun maaileikkauksen yhteydessä.

Jälkikäteiskaivannon tekemiseen soveltuu myös traktorikaivuri, jos massat saa jättää kaivannon läheisyyteen jatkokäsittelyä varten. Auto-kuormaukseen ei traktorikaivuri sitä vastoin ulotu.

Kaivupyörällä tai jyrsinketjulla varustettuja varsinaisia salaojakaivureita ei tienrakennuksessa ole käytetty, mutta raskaimmat näistä, kuva 10, voivat toimia melko kivisessäkin maaperässä. Pelto-ojituksessa näillä on kyetty kaivamaan teiden ylityskohdat ym. tavallista karkeamman maaperän alueet. Kun salaojakaivurilla työ käy nopeasti ja pohjan taso saadaan yleensä heti oikeaan korkeuteen, sitä ilmeisesti kannattaisi kokeilla ja kehitellä myös tietöihin soveltuvaksi.



Kuva 10. Kotimainen kaivupyörätyyppinen salaojan kaivukone, paino 6,8 tonnia.



Putkien lasku ojaan on tiesalaojituksessa tehty käsityönä ja se pysyneeikin sellaisena, jos kaivanto tehdään yleiskaivinkoneella. Peltosalaojituksessa tiiliputkien asentamiseen käytetty kourulaskulaite nopeuttaa putkitusta, mutta tiesalaojituksessa ei erityistä putkenlaskun automaatiotarvetta juuri esiinny, koska ojapituudet jäävät pienehköiksi. Jos käytetään varsinaista salaojakaivuria, se voidaan varustaa sekä muoviettä tiiliputkien laskulaitteella, ja kaivurin yhteydessä se saattaa puoltaa paikkaansa.

Kaivannon täyttö salaojasoralla on tapahtunut traktorilevittimin ym. yleiskalustolla. Erityisen sorastusvaunun käyttö peltosalaojituksen ta-
paan saattaisi kuitenkin olla edullista. (Traktorivetoisessa soravaunussa on poikittainen hihnakuljetin, joka siirtää soran suoraan kaivantoon.)

5.3 Salaojien rakentamiskustannukset

TVL:n rakentamistalouden toimisto on koonnut salaojituksen kustannus-
tietoja piiri- ja vuosikohtaisesti, mutta ilman jakaumaa eri työvaihei-
siin. Kokonaiskustannukset esim.vuosina 1975 ja 1978 ovat olleet tau-
lukon 3 mukaiset (mukana piirit, joiden työmäärä $\geq 0,2$ km).

Taulukko 3. Tiesalaojien kokonaiskustannuksia TVL:n piireissä.

Piiri	Rakentamiskustannukset mk/m	
	1975	1978
U	47,90	53,27
T	62,00	51,88
H	40,40	108,30
P-K	48,30	69,52
V	18,60	78,07
K-P	37,00	29,40
<hr/>		
Koko maa (painotettuna)	42,85	62,82

Kustannukset ovat nousseet hiukan rakennuskustannusindeksiä nopeammin,
mutta työmäärien pienuuden vuoksi pääosa vaihtelusta aiheutunee kuiten-
kin satunnaistekijöistä. Esim.Hämeen piirin korkea yksikköhinta 108,30
mk/m aiheutuu tavallista suuremmasta kaivotiheydestä.

Erään piirin (TVL-H) kustannusten jakauma on v.1978 ollut seuraava:

- materiaali (putket, kaivot, kiviaines, lisälaitteet)	45 %
- kuljetukset	24 %
- miestyö	9 %
- konetyö	18 %
- muut kustannukset	4 %

Yht.100 %

Kuten kokonaiskustannuksissa, myös niiden jakautumisessa on erittäin
suuri hajonta kohteiden pienuuden ja vaihtelevuuden vuoksi.

Vaikka tarkempiin johtopäätöksiin ei aineiston suppeuden takia ole mahdollisuuksia, on keskimääräistä kokonaishintaa, v.1978 n.60...65 mk/m pidettävä melko korkeana. Kun peltosalaojituksen kustannukset olivat samaan aikaan n.5...8 mk/m eli vain 1/10 tiesalaojituksesta, ei suuri ero voi mennä pelkästään syvempien kaivantojen, suurempien putkien ja lukuisampien kaivojen tiliin, vaikka nämä tekevätkin tiesalaojituksen aina kalliimmaksi. On aivan ilmeistä, että menetelmien ja kaluston vakiintuminen sekä erityisesti työmäärien lisäys pudottaisivat tiesalaojituksen yksikköhintaa tuntuvastikin.

Korkeahko yksikköhinta ei silti tee salaojituksen käyttöä tienrakennuksessa epäedulliseksi syvään avo-ojaan verrattuna. Tiealueen kaventumisen ja leikkausmassojen vähentymisen synnyttämä säästö on useimmiten niin suuri, että se ei vain korvaa vaan ylittääkin salaojituksen kustannukset. Salaojituksen mahdollistamat matalat sivuojat ja niiden tuoma laatutason nousu on luonnollisesti tärkein salaojien käytön syy.

6. Salaojituksen kunnossapito

Tiesalaojituksen kunnossapito on vielä vähemmän vakiintunutta kuin rakentaminen, koska kunnossapidon tarpeesta ja määrästä on vallinnut epätietoisuus, kunnossapito-ohjeistoa ei tienpitäjillä ole ja salaojien sijainti- ym.tietojen siirto rakentajilta kunnossapitäjille on ollut satunnaista ja puutteellista. Tämä on johtanut siihen, että itse putkistoa ei ole lainkaan huollettu (kalustoakaan ei juuri ole olemassa) ja ainoaksi toimenpiteeksi on jäänyt lietteen poisto vuosittain niistä kaivoista, jotka ovat yhteisiä pintavesiviemäreiden kanssa.

Koska salaojat kuitenkin, milloin niitä on seurattu, ovat toimineet hyvin, tämä viittaa kunnossapitotarpeen vähäisyyteen. Eräät toimenpiteet ovat silti aiheellisia, valmuis pieniin korjauksiin tulisi luoda ja joka tapauksessa salaojien seuranta pitäisi järjestää kiinteälle kannalle.

Seuraavassa esitetään lähinnä käsityksiä siitä, millainen tiesalaojituksen kunnossapitojärjestelmän tulisi olla ollakseen mahdollisimman vähätöinen, mutta tilanteen tarkkailun kannalta riittävä.

6.1 Kunnossapidon toimenpiteet

Tiesalaojituksen hoito edellyttäisi seuraavia toimenpiteitä:

a) Salaojituksen lähtöasiakirjat on annettava kunnossapitäjälle suppeassa ja helppokäyttöisessä muodossa. Seuraavat seikat on voitava todeta papereista tieosuuksittain:

- kunkin putkisalaojan sijainti: alku- ja loppupiste sekä putkilinjan etäisyys tien reunasta,
- kaivojen sijainti,
- laskuaukkojen sijainti,
- putken materiaali, halkaisija ja kaltevuus,
- tiedot mahdollisista erikoislaitteista tai järjestelyistä.

Putkettomista salaojista ei tarvita yksityiskohtaisia lähtötietoja.

b) Salaojien merkintä maastoon: kun asiakirjatiedot ovat olemassa, riittää laskuaukkojen (-putkien) merkitseminen n. 1 m korkuisin paaluin. Kaivot löytyvät yleensä helposti eivätkä tarvitse merkintää.

c) Varsinaisista toimenpiteistä tärkein on kaivojen ja laskuputkien tarkastus. Keväällä ja sateen jälkeen muulloinkin on todettavissa, kuinka salaoja toimii (virtaako vettä ja onko sen määrä oikeassa suhteessa valuma-alueen kasvuun ym.nähdén), ovatko näkyvät laitteet ehjiä ja tarvitaanko lietteen poistoa tai muuta kunnostusta.

d) Lietekaivot on tarvittaessa tyhjennettävä lietteestä. Tarvetta esiintyy lähinnä salaojan toiminnan alkuaikoina. Tien luiskassa tai avo-ojassa sijaitsevien laskuaukkojen ympäristö puhdistetaan (lietteen poisto, putken suoristus, heinän niitto yms.), mikäli veden purkautumiselle olisi esteitä.

e) Varsinaiset viat korjataan tarpeen mukaan. Nämä ovat harvinaisia, mutta niitä voivat olla kaivojen ja laskuputkien rikkoumat ja maansiäisten putkien tukokset. Putkitukos vaatii selvän näytön. Tukos poistetaan mekaanisin puhdistimin (rassilla) tai vesihuuhtelulla. Ellei tukosta kyetä pysyvästi poistamaan ja jos siitä on ilmeistä haittaa tierakenteelle tai ympäristölle, putki kaivetaan esiin ja suunnittelu- tai työvirhe korjataan.

6.2 Kunnossapidon aikavälit

Ainoat määräaikaistoimenpiteet ovat salaojien kaivojen ja laskuputkien tarkastukset. Ne tulisi uusissa kohteissa suorittaa kaksi kertaa vuodessa, keväällä maksimivirtaaman aikana ja syksyllä ennen maan jäätymistä. Myöhemmin seurannan voi supistaa pelkkään kevättarkastukseen.

Tarkastushavainnoista määräytyy muiden toimenpiteiden tarve. Lietteen poisto olisi ainakin alkuvuosina tehtävä kerran vuodessa. Varsinaiset korjaukset ja putkitukosten avaamiset ovat harvinaisia ja satunnaisia. Kaivonkansia rikkoutuu silloin tällöin ja ainakin puiset laskuputket on uusittava 10...20 vuoden välein.

6.3 Kunnossapidon kalusto

Salaojituksen kunnossapitoon soveltuvaa erikoiskalustoa ei tienpitäjillä yleensä ole. Käsityökaluilla voidaan suorittaa vähäiset kunnostukset.

Lietteen poistoon soveltuva väline on pumppuauto, jolla viemärikäivotkin tyhjenetään. Ainemäärien vähäisyyden vuoksi voidaan yhdellä kierroksella tyhjentää 50...100 kaivoa.

Putkitukosten toteamiseen ja poistamiseen käytetään mekaanista rassia, mikäli sen pituus ulottuu kaivosta toiseen. Toinen keino avaamiseen on pumppuauton yhteydessä oleva painehuuhtelulaitteisto.

Kaluston kehittämistarvetta on ainakin seuraavia toimenpiteitä varten:

- lietteen poisto kaivoista käsityönä,
- putkiston avoimuuden varmistaminen (rassit, valonsäde, laser) ja pienten putkitukosten poistaminen.

6.4 Kunnossapidon kustannukset

Kun salaojituksen systemaattista kunnossapitoa ei ole suoritettu, ei mainittavia kustannuksiakaan ole kertynyt. Toimintahäiriöt ja niiden korjaus ovat olleet niin satunnaisia, että raporttiaineistoa ei näistäkään ole olemassa.

Jos kunnossapito vakiinnutetaan kohdissa 6.1...6.3 esitetyllä tavalla, jäävät kustannukset silloinkin varsin alhaisiksi, koska toimenpiteet ovat kevyitä ja lähinnä tarkkailua. Tarkastusten, lietteenpoiston ja käsityön yhteiskustannuksiksi voitaneen arvioida vuosittain 200...1000 mk/oja-km eli 0,2...1 mk/m, laajoissa yhtenäisissä kohteissa vä-

hiten ja pienissä erilliskohteissa eniten. Mahdolliset suuremmat korjaustyöt, jotka vaatisivat ojan aukikaivua, tulevat näiden kustannusten lisäksi.

Esitetty arviokustannus 0,2...1 mk/m vuodessa on jonkin verran pienempi kuin avo-ojien keskimääräinen kunnossapitokustannus (1977 n.1 mk/m ilman kaivukoneen käyttöä, vrt. PTL:n raportti 12:1977, Vägens avvattning). Salaojituksen hoitokustannukset eivät siten voi myöskään muodostua salaojien lisääntyvän käytön esteeksi.

7. Tutkimus- ja kehitystyö

Salaojituksesta on vuosikymmenten kuluessa suoritettu niin Suomessa kuin ulkomaillakin erittäin paljon kokeita ja tutkimuksia, mutta ylivoimainen valtaosa näistä koskee pelto-ojitusta. Monia tutkimustuloksia voidaan luonnollisesti soveltaa myös tiesalaojitukseen. Tällaisia ovat esim. mitoituksen yleiset perusteet, putki- ja kaivomateriaalit, putkien vedenotto- ja vedenjohtokyky jne.

Monet seikat vaatisivat kuitenkin nimenomaan tie- tai muilla liikennealueilla suoritettuja salaojatutkimuksia ja tarkkailua. Näiden tavoitteena on viime kädessä selvittää, millä tavalla toteutettuna salaojitus toimii tien kuivattajana tarvetta vastaavasti ja minkälaisen yksityiskohtien avulla päästään riittävän hyvään tulokseen mahdollisimman halvalla.

Seuraavissa kohdissa luetteloidaan lähinnä tiesalaojitusten tutkimustoimintaa ja vastaista kehitystarvetta. Katsaus käsittää yksinomaan suomalaisen näkökulman; PTL:n raportin yhteenvedossa tulevat mukaan myös muut Pohjoismaat.

7.1 Valmiit ja käynnissä olevat tutkimushankkeet

7.11 Julkaistuja ohjeita ja tutkimuksia

Ohjejulkaisuja:

- Huikari, O. & Muotiala, S. & Wäre, M.: Ojitusopas. Kirjayhtymä, Helsinki 1964. (257 s.)
- Kuivatuksen suunnittelu. Eripainos teiden suunnitteluohjeista. Tie- ja vesirakennushallitus 10.4.1979, TVH 722824. (62 s.)
- Rakennusten salaojitus. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto, RIL 126, Helsinki 1979. (91 s.)

Salaojituksen vaikutus tien ominaisuuksiin ja kustannuksiin:

- Lehtipuu, Eero: Tutkimuksia teiden kuivatuksesta (Studies of Highway Drainage). Helsingin teknillinen korkeakoulu, Tietekniikan julkaisu 21, 1973. (50 s.)
- Virtanen, Matti: Tien matalan ja syvän sivuojan taloudellinen vertailu. Oulun yliopisto, diplomityö 1976. (56 s.)

Salaojaputket ja niiden ominaisuudet:

- Niinivaara, Kauko: Kestävyyskokeita jäädytetyillä ja roudan vaikutuksen alaisina olleilla salaojaputkilla. Maanviljelysinsinööriyhdistyksen vuosikirja 1944-45. Helsinki 1945. (19 s.)
- Juusela, Taneli: Salaojasyvyyskysymyksen selvittelyä. Maataloustieteellinen Aikakauskirja 19. Helsinki 1947. (9 s.)

Salaojien mitoitus:

- Keso, Lauri: Tutkimuksia veden pääsystä salaojaputkistoon. Teknillinen Aikakauslehti 11/1938. (7 s.)
- Suortti, Tuula: Kokeellinen tutkimus salaojaputkien vedenjohtokyvystä. Helsingin teknillinen korkeakoulu, diplomityö 1978. (78 s.)
- Maunula, Markku: Kokeellinen tutkimus salaojaputkien vedenottokyvystä. Helsingin teknillinen korkeakoulu, diplomityö 1978. (75 s.)

Salaojasoran ja maaperän ominaisuudet:

- Wäre, Matti: Eri maalajitteiden vedenläpäisevyydestä. Teknillinen Aikakauslehti 24/1949. (2 s.)
- Juusela, Taneli: Salaojaputkiston suojaustavoista ja soran käytöstä suojausaineena. Maa- ja vesirakentaja 3, Helsinki 1958. (22 s.)
- Rathmayer, Hans: Kiesfilter für Tondränrohre bei Fundamententwässerungen. Valtion teknillinen tutkimuslaitos, tiedotus, sarja III - Rakennus 165. Helsinki 1971. (45 s.)

7.12 Käynnissä olevia tai julkaisemattomia tutkimuksia:

Salaojituksen vaikutus tien ominaisuuksiin:

- Ehrola, Esko: Tieolosuhteiden vaikutus henkilöautojen tieltäsuistumisonnettomuuksiin. (Käynnissä 1979).
- Lehtipuu, Eero & Velhonoja, Pauli: Tarkkailututkimuksia salaojiteilla koeteilla. (Käynnissä 1979).

Salaojaputket ja niiden ominaisuudet:

- Pälikkö, Erkki: Selvitys tiiliputken sisäsärmässä olevan raasteen vaikutuksesta salaojassa vallitsevaan vedennopeuteen ja liettymisilmiöön. Maataloushallituksen insinööriostos 17.11.1969. (Julkaisematon muistio).
- Velhonoja, Pauli: Muoviputkien lujuuskoe 29.5.1978. TVH, Tien-suunnittelutoimisto 5.6.1978. (Julkaisematon muistio).

Salaojasoran ja maaperän ominaisuudet:

- Lehtipuu, Eero: Vertailevia vedenläpäisevyyden mittauksia. Teknillinen korkeakoulu 20.4.1972. (Julkaisematon muistio).
- Silfverberg, Paul: Kokeellinen tutkimus rakennuspaikan salaojitukseen liittyvistä tekijöistä. Teknillinen korkeakoulu 1978. (Julkaisematon erikoistyö, 41 s.)

7.2 Ehdotuksia uusiksi tutkimuskohteiksi

Tiesalaojituksen vähyydestä johtuu, että mitään sen erityispiirteitä ei tunneta niin täydellisesti, etteikö lisätieto olisi hyväksi. Seuraavassa luetellaan tärkeimpiä tutkimus- ja kehityssaiheita suomalaisesta näkökulmasta.

Tiesalaojien toiminnan yleistä tarkastelua:

- Kuinka hyvin vanhat (> 10 v.) salaojat toimivat ja missä kunnossa niiden putket ovat, ts. kuinka pitkäikäiseksi tavallinen tiesalaojitus voidaan arvioida olosuhteiden ja materiaalien vaihdellessa?
- Onko tapauksia, jolloin putkien jäätymisestä kokonaan tai osittain on olennaista häirtää tien kuivatukselle tai salaojalle itselleen?
- Salaojituksen tarjoamat mahdollisuudet vanhojen teiden routimisherkkyyden vähentäjänä.

Salaojien suunnitteluun liittyvää:

- Olosuhteiden (maaperä, pohjavesivirtaus, tien korkeussijainti) vaikutus putkisalaojan ja putkettoman suoto-ojan käyttöön sekä näiden välisiin kustannussuhteisiin.
- Jos maasto on tasainen, tarvitaanko salaoja tien molemmille puolille, vai riittääkö toispuolinen oja, jos päällysrakenne tehdään koko leveydeltään sinne kaltevaksi?
- Voidaanko nykyisiä suosituskaltevuuksia ($J \geq 0,5 \%$ ja poikkeustapauksissakin $J \geq 0,4 \%$) pienentää, huomioon ottaen työn tavanomaisen tarkkuus ja toisaalta salaojan mahdollinen painuminen?
- Salaojakaivojen välimatkan optimointi.

Salaojien rakentamiseen liittyvää:

- Voidaanko salaojakaivannon teko nykyistä edullisemmin yhdistää itse maaleikkaukseen?
- Voidaanko kapea salaojakaivanto tehdä peltosalaojituksessa käytetyn kaltaisella jatkuvatoimisella kaivurilla? Kuinka kaivuria mahdollisesti olisi kehitettävä tietoihin soveltuvaksi?
- Salaojasoran levitys traktorivetoisella sorastusvaunulla.

Salaojien kunnossapitoon liittyvää:

- Rassien tai muun välineistön kehittäminen putkiston avoimuuden toteamiseksi ja pienten putkitukosten poistamiseksi.
- Käsityökaluston kehittäminen lietekaivojen lietteen poistamiseksi.

